農業試驗所特刊第 179 號

東亞遷移性
水稻害蟲及管理對策

鄭清煥 編著

行政院農業委員會農業試驗所 修訂再版
中華民國一〇九年三月

農業試驗所特刊第 179 號

東亞遷移性水稻害蟲及管理對策

鄭清煥 編著

行政院農業委員會農業試驗所 修訂再版
中華民國一〇九年三月

農業試驗所陳所長 序文

水稻為國人主要糧食作物，在水稻生長期中可能遭受病、蟲及草等之危害而導致嚴重損失，單就害蟲危害，在第二期稻被害就可造成 3.1~90.2%，平均 30%左右的損失，損失量約為第一期稻的兩倍。第二期稻的被害變異範圍與平均危害程度，皆較第一期稻被害為嚴重，主要是受海外遷入的稻飛蝨類及瘤野螟等害蟲之遷入數量的影響所致。這些由海外遷入的害蟲，除可增加族群的密度及危害程度外，對藥劑的感受性或對抗蟲品種水稻的反應的差異，以及媒介水稻病毒病害的情況，都可能對臺灣地區的蟲害管理造成衝擊。

本所嘉義分所植物保護系前研究員兼主任鄭清煥博士，從事水稻害蟲研究工作近乎四十年，尤其對遷移性害蟲的發生生態、遷入偵測、發生預測、以及管理對策皆有深入研究，在國內外發表有關研究報告百餘篇，奠基了臺灣水稻綜合管理的基礎。令人敬佩的是在他退休之後，仍孜孜不倦地將其研究心得與從國內外蒐集之相關文獻，彙編成「東亞

遷移性水稻害蟲及管理對策」一冊，有系統地介紹遷移性昆蟲以及東亞遷移性水稻害蟲的研究沿革，遷移性害蟲遷入臺灣之監測與管理現況。文中特別針對目前東亞地區，應用於管理水稻害蟲各種方法的優缺點加以分析，強調利用可誘導水稻害蟲嚴重發生之生態因子的拮抗因素，減緩害蟲族群的增長及危害的【預防】措施，取代慣常使用藥劑的【治療】方式，當害蟲無法被抑制於可容忍的經濟危害基準時，再適時地使用選擇性或短效、微毒性農藥，可同時兼顧環境生態和水稻遭受危害損失的風險。本書內容相當豐富，敘述深入淺出，條理分明，極具相關人員從事研究或應用之參考。

行政院農業委員會農業試驗所

所長 謹識

中華民國 103 年 6 月

臺灣大學榮譽教授朱博士 序文

在鄭清煥博士的大作《東亞遷移性水稻害蟲及管理對策》正式出版前，我有幸先拜讀了一遍，讀後的感言之一是，這是自 1970 年代後三化螟、二化螟等水稻害蟲猖獗後至現在的一部「臺灣水稻害蟲研究史」。這使我想起 1970 年與鄭博士聯手研究飛蝨類的壯年時代，那些日子的點點滴滴跳脫塵封的記憶，一一浮現在我腦海裡。如「米糖相剋」所示的臺灣農業特徵，水稻與甘蔗曾是臺灣的兩大農作物，但受到國際糖價的影響，臺灣的製糖業不只榮景不再，更已面臨潰滅的邊緣；而水稻的栽培，也在稻米生產過剩的情形下，不如過去受到極大的重視，但仍維持最大的栽培面積。水稻的經濟價值由此可見，從此亦知研究水稻害蟲的重要性。

著者鄭清煥博士是我幾十年來的研究夥伴，也是我在稻作害蟲研究的師父。在我們退休之前，由於農政單位任務導向的政策，研究人員常被迫更改研究對象，如我除了研究水稻害蟲外，還兼及蔬菜、果樹害蟲；然而鄭博士具有超人的

毅力，自省立台中農學院 (今國立中興大學) 畢業後，任職於農業試驗所嘉義分所，一直堅守崗位，研究以飛蝨為主的水稻害蟲，數十年如一日，可說是臺灣甚難見到的水稻害蟲專家。雖然他已退休多年，仍然在嘉義分所作他的調查、研究並指導後進，忙碌之餘還能完成內容如此豐富及專業性高的學術書，充分顯示他學問之高深、毅力之驚人。我比鄭博士虛長幾歲，但退休後我不敢再碰那些學術書，而選擇撰述科普書自娛，拜讀鄭博士的著作，我深覺自己天資不敏，更願鄭博士執筆撰寫他的第二部作品《臺灣水稻害蟲大全》，並繼續指導後進，使臺灣的農業重振往日的隆盛。

臺灣大學昆蟲研究所榮譽教授

朱耀沂 謹記

2014 年 1 月

編著者 序言

褐飛蝨、白背飛蝨、斑飛蝨和瘤野螟等害蟲在 1960 年代以前，無論在臺灣或其他亞太地區都屬於偶發性的水稻害蟲，其後因設立於菲律賓的國際稻米研究所，及設立於中國湖南的雜交水稻研究中心，分別於 1966 及 1976 年以後陸續命名及推廣 IR 品種及第一代雜交稻品種，兩類型水稻都是屬於半矮性、多分蘖型、高氮肥反應的豐產稻種；高產量是靠施用高氮肥及密集施用藥劑防治病蟲害堆積的成果，但卻引起褐飛蝨等遷移性害蟲自 1960 年代以來，在亞太水稻區造成嚴重的危害。

稻飛蝨是如米粒一樣大小的昆蟲，具有長距離遷移的能力，首於 1964 年 7 月為日本氣象廳設置於海岸外約 500 公里的海上氣象觀測船上，發現有數千隻稻飛蝨撲向燈光開始，其後經日本與中國大陸持續鑽研，終於發現，越南紅河三角洲及其附近地區栽培的冬春稻上繁殖的稻飛蝨，是為遷移至東北亞水稻區的主要遷出蟲源地，每年 4-5 月靠西南的氣流的載運遷入華南水稻區，6-7 月再由華南隨梅雨鋒面的

北上，由華南遷往華中，甚或至華北、韓國及日本。臺灣位於大陸的東南隅，並未在主要遷徙的途徑上，但若氣流稍有偏向，亦可能由華南或呂宋島遷入臺灣，遷入的蟲數與臺灣第二期水稻被害程度具有密切關係。使用藥劑防治及栽植抗蟲稻種一向是為東亞地區防治遷移性害蟲的主軸，但在大面積連續使用後，衍生諸多缺陷，經多年的研究體驗，從生態面注重害蟲發生的「預防」措施，要較僅僅依賴「治療」方式管理蟲害，更為永續、經濟、有效。

因應這些遷移性害蟲的嚴重危害，國際上曾召開多次的研習及研討會，探討解決之道，惜臺灣研究人員被邀請出席的機會相當有限。身為水稻害蟲防治研究工作者，只能從有關期刊或國內、外友人提供的資訊，才能使研究工作緊緊的跟上國際腳步前進。為使多年所蒐集的資料及研究所獲，不致隨個人的退休而消失，遂將之整理成冊，以資同好參考。

本書共分五大部分，第一部分 (第壹章至第貳章) 介紹昆蟲長距離遷徙的研究概況；第二部分 (第參至第肆章)，介紹東亞遷移性水稻害蟲的研究沿革及遷移性害蟲侵入對臺灣水稻害蟲發生與管理之衝擊；第三部分 (第伍章) 概述臺

灣遷移性水稻害蟲之生物學；第四部分 (第陸章) 敘述遷移性水稻害蟲管理策略之演變及趨勢；第五部分為參考文獻，方便讀者查考原文，從事更深入的探究。

本書撰稿斷斷續續歷經數年，期中承農業試驗所嘉義農業試驗分所長官的鼓勵及提供工作空間，植物保護系同僚黃守宏博士等提供補充文獻及電腦文字編排與插圖轉錄技巧，得能完成編纂工作，文成後復蒙臺灣大學榮譽教授 朱耀沂博士核稿勉勵，農業委員會農業試驗所 所長陳駿季推薦，謹誌衷心謝忱。惟筆者才學不敏，閱歷有限，文中或有謬誤或編排不當之處在所難免，祈請方家指正。

於農業委員會農業試驗所
嘉義農業試驗分所
鄭清煥 謹識 2014 年 10 月

致　謝

先父 鄭清煥博士畢生致力於作物病蟲害之研究，退休後仍孜孜不倦著手修訂「東亞遷移性水稻害蟲及管理對策」乙書，本書修訂再版付梓前， 先父不幸離世，幸蒙父親生前任職服務的農業試驗所同仁幫忙與協助，再版才得以問世。在此要特別感謝嘉義農業試驗分所植保系黃守宏博士及賴柏羽先生協助將父親手稿打字及文稿校對，安寶貞博士協助審閱，倪蕙芳主任大力協助處理出版過程中所有繁瑣行政手續，以及前後任兩位分所長楊宏仁博士、陳甘澍博士及農試所同仁與長官們的支持，才得以讓本書付梓刊印，讓 先父一生對台灣這塊土地的熱愛及對作物病蟲害研究投入的心血與熱情，藉由文字保存下來。 鄭博士全體家屬由衷感謝農業試驗所全體同仁的協助與幫忙，也期待這本書的出版，能對病蟲害防治領域的研究學者與後進有所助益。

鄭清煥博士全體家屬　鞠躬誌謝

目　　錄

第壹章　前　言 1

第貳章　昆蟲遷徙的研究概況 5

第一節 研究發展沿革 5

第二節 遷移性昆蟲之生理機制 11

第三節 飛行邊界層與昆蟲的遷移方式 14

第四節 昆蟲遷移飛行之氣象條件 22

1. 溫度 22

2. 光度 24

3. 氣流 (風)..24

(1) 氣壓與風..26

(2) 氣旋..27

(3) 熱帶氣旋..29

(4) 反氣旋..30

(5) 鋒面系統..31

(6) 風切線..32

(7) 間熱帶輻合帶..33

第五節 昆蟲遷徙的研究方法 36

1. 昆蟲飛行能力的測定 36

2. 脂肪耗損量 36

3. 雌蟲卵巢發育 36

4. 網捕及誘捕 38

5. 標記、釋放及再捕 40

6. 雷達觀察 41

7. 氣流的流軌圖分析 42

8. 地理資訊系統及遙測資料之應用 44

第參章 東亞遷移性水稻害蟲之研究概況 47

第一節 研究沿革 47

1. 粟夜盜 47

2. 褐飛蝨與白背飛蝨 49

3. 斑飛蝨 56

4. 瘤野螟 59

第二節 東亞季風與遷移性昆蟲之遷徙 62

第三節 遷移性水稻害蟲北遷南移的氣象條件 68

第四節 東亞遷移性水稻害蟲最初遷出地區之探究 70

1. 最初遷出地區的研討 70

2. 最初遷出地區水稻栽培及遷移性害蟲之發生概況 73

3. 遷移性害蟲由蟲源區遷出後之擴散 79

第肆章 東亞遷移性水稻害蟲對臺灣稻蟲管理之衝擊 87

第一節 水稻遷移性害蟲遷入臺灣之偵察 87

第二節 遷移性水稻害蟲遷入臺灣與水稻被害之關係 98

第三節 遷移性水稻害蟲遷入臺灣之變動及趨勢 102

第四節 遷移性害蟲遷入對臺灣水稻害蟲管理之衝擊 106

第伍章 主要遷移性水稻害蟲之生物學 109

第一節 發生沿革 109

第二節 主要遷移性害蟲生物學簡介 113

1. 褐飛蝨 113

2. 白背飛蝨 123

3. 斑飛蝨 132

4. 瘤野螟 138

5. 粟夜盜 145

第陸章 遷移性水稻害蟲之防治對策 151

第一節 水稻栽培及蟲害之管理 151

1. 臺灣水稻栽培概況及各生長發育期對產量的影響 152

2. 水稻對害蟲危害的容忍程度 155

3. 害蟲經濟危害基準的概念及應用 162

4. 害蟲族群監視 172

第二節 可應用於水稻害蟲的防治方法 174

1. 物理防治法 175

2. 耕作防治法 176
(1) 水稻品種..177
(1-1) 水稻品種與害蟲之演變 177
(1-2) 水稻綠色革命與稻飛蝨類害蟲之猖獗危害 ..179
(1-3) 水稻害蟲抗性品種篩檢 183
(1-4) 害蟲抵抗性水稻育種 187
(1-5) 作物對害蟲之抵抗性機制 190
(1-5-1) 非偏好性..191
(1-5-2) 抗生作用 195
(1-5-3) 容忍性..198
(1-6) 有害生物小種 200
(1-6-1) 連續地釋放由單主效基因所支配的抗性品種..206
(1-6-2) 堆疊單主效抗性抗性基因 206
(1-6-3) 應用多品系品種..................................208
(1-6-4) 應用水平抵抗性品種..........................208
(1-7) 臺灣水稻對害蟲之抵抗性研究 210
(2) 調整田間管理..216
(2-1) 水稻種植時期 217
(2-2) 水稻種植的行株距 217

(2-3) 稻田肥、水管理 218
(2-3-1) 肥料管理 218
(2-3-2) 灌溉水管理 226
(2-3-3) 田間衛生及操作 231
3. 生物防治 233
(1) 天敵對害蟲防治效果之侷限..234
(2) 臺灣稻田之設施環境不利天敵之增殖..237
(3) 可期待發展的害蟲天敵..239
4. 藥劑處理 242
(1) 臺灣殺蟲劑使用沿革..242
(2) 使用殺蟲劑可能產生之弊病..245
(2-1) 害蟲產生抗藥性 246
(2-2) 害蟲再猖獗 249
(2-3) 藥劑對環境之衝擊 250
(2-4) 對水稻產生藥害 252
(3) 殺蟲藥劑在自然環境下之降解消失..255
(3-1) 農藥使用後之代謝及降解消失 256
(3-2) 水稻殺蟲劑之代謝及其毒性之降解消失 261
5. 水稻害蟲殺蟲劑的合理使用 281
(1) 適當的施藥時期..282

(2) 選擇適當的藥劑......283
(3) 施藥方法......285
(4) 審慎使用藥劑......288
第三節 水稻害蟲綜合管策略......289
1. 臺灣水稻害蟲防治沿革......289
2. 水稻害蟲綜合管理......293
(1) 害蟲綜合管理的概念......293
(2) 水稻害蟲綜合管理的實施沿革......294
(3) 臺灣水稻害蟲綜合管理待努力的課題......303
(4) 臺灣水稻害蟲綜合管理策略之商榷......308
(4-1) 天敵保育與增殖......309
(4-2) 栽植抗蟲性品種......310
(4-3) 灌排水及肥培管理......310
(4-4) 害蟲族群監視......311
(4-5) 適時藥劑處理......312
(4-6) 防治效果評估......313
(4-7) 害蟲發生預測......313
(5) 慣行栽培與有機栽培水稻的病蟲害管理......314
第柒章 結 語......321
參考文獻......329

第壹章　前　言

動物因覓食、交配、產卵、繁殖子嗣或尋找適當的棲地，需要短距離的遷徙，是謂日常性移動 (trivial movement)；但若因遭受到惡劣環境的壓力，如氣候或食物，則部分動物可能就地進入休眠或蟄伏，直至環境改善後再甦醒生長、繁衍；另一部分的動物則可能遷離原棲地數百至千餘公里以外，尋求適於生存的環境，在新棲地繼續生存、繁衍，是謂遷移性移動 (migratory movement) (Southwood 1962)。較為人們所熟知的遷移活動是於每年秋末冬初由北方往南遷徙避寒，而於春暖花開的季節再遷回北方棲地之候鳥的遷徙。昆蟲因體型小，其遷徙的行為較少為人們注意，且大部分昆蟲有其適當的分布區域，並可藉不同生長蟲期的型態，以休眠或越冬 (夏) 的方式，渡過惡劣的氣候環境，而適應於當地的生態環境，此類昆蟲大都屬於「留居型」昆蟲 (resident insects)；但部分昆蟲不具休眠特性，只能以遷徙方式，避開不良環境以求生存及族群的繁衍，此類昆蟲就屬於「遷移型」昆蟲 (migratory insects)。

遷移性昆蟲最為人們所津津樂道者莫過於帝王蝶 (the monarch butterfly, *Danaus plexippus*) (Brower 1977; Gibo &

Pallet 1979; Williams 1930) 及沙漠飛蝗 (the desert migratory locust, *Schistocerca gregaria gregaria*) 的遷徙 (Farrow 1975, 1990; Shaw 1965)。前者，每年秋季由北美五大湖地區成群南遷至南加州或墨西哥城附近的森林過冬，成蟲於次年春天再向北遷徙，最後回到五大湖地區的棲地，遷移距離超過 2,000 公里 (Urquhart 1977)。在東亞地區，日本青斑蝶 (*Parantica sita niphonica*) 每年秋季由日本遷移一千餘公里到臺灣越冬，以及在臺灣發現類似此種南北遷徙的紫斑蝶 (*Euploea* spp.，主要含有端紫斑蝶、斯氏紫斑蝶、圓紫斑蝶及小紫斑蝶等)，每年於 10 下旬至 11 月由臺灣中、北部陸續往臺灣南部遷徙，數千萬隻紫斑蝶在高雄市茂林山谷林地越冬，少部分在屏東縣霧台或台東縣大武地區越冬，第二年春分左右開始 (3 月中旬至 4 月上旬，清明節前後) 至 5 月中旬分兩次大規模向北遷。南北遷徙距離雖然只有兩、三百公里，雖然不能與帝王蝶及青斑蝶相比，但此種壯觀的遷飛奇景仍然引起國人莫大的興趣 (陳 2014；趙 2009)。

沙漠飛蝗遷移的故事，早在紀元前 1500 年左右，在舊約聖經的出埃及記就有記述，摩西為懲戒埃及法老，因不讓他奉神差遣帶領以色列人離開埃及的要求，實行九災，以顯示神耶和華的全能，而使法老屈服。在九災中記述蝗災就有如

下意味的記述：「......摩西就向埃及方向伸出手杖，耶和華便使東風在埃及吹了一晝夜，到了清晨，東風把蝗蟲帶了進來，落在埃及遍地，無論是蔬菜或樹木等綠色植物幾乎被蠶食殆盡，無一倖免......」。按近年來的研究，上面所指的蝗蟲是指分布於北非、中東及印度西部等地區之沙漠飛蝗危害成災的情形。該種蝗蟲分布於赤道附近，當「熱帶輻合帶」(tropical convergence zone) 產生時，氣流由其他地域流入產生輻合而降雨，滋潤植物生長，並形成蝗蟲等繁殖的舒適場所。另一方面，由散居型或稱獨居型 (phase solitaria) 蝗蟲產於地下的卵，在獲得甘霖的濕潤時始同時孵化，巨量的蝗蝻行動一致，長大後形成「群生相」(phase gregaria) 的成蟲，有成群結隊飛行的習性。群生相的蝗蟲於白天活動，夜間休息，次日其體溫隨太陽上升而升高，隨即往上飛行，若碰到強盛的氣流，就隨氣流的方向遷徙危害 (Magor 1995)。因此將上述的神話，若把「耶和華」改為「熱帶輻合帶」就甚有意義。沙漠飛蝗藉熱帶輻合帶前之強盛東風的載運，由阿拉伯半島入侵埃及而造成嚴重的危害。似此，害蟲遷徙的現象，在很久以前即被人們察覺，若干害蟲在冬季酷寒，無法生存而消失，但在氣溫回升的季節，隨著溫暖的東 (西) 南風吹來而遷入。

遷移性昆蟲部分是屬於農作物大害蟲，一旦大量遷入，

常導致農作物之嚴重損失。這種遷徙的現象通常在溫帶地區，因冬季氣溫極端酷寒，或乾旱的地區因缺寄主植物，致使昆蟲無法周年發生的地區最為明顯。處於亞熱帶地區的臺灣，似上述鮮明的現象並不容易發現，但在臨近地區，於害蟲南北遷移的過程中，若有適當的氣流，亦可將害蟲攜帶遷入，而影響本地區害蟲之發生量與危害程度。本文僅就以往昆蟲遷徙的研究，特別是東亞地區之遷移性水稻害蟲之遷徙概況，及其對臺灣之影響與管理對策加以綜述，供作從事稻作保護工作者參考。

圖示、插秧植下無限的希望，唯有辛勤的耕耘與良好的管理，才能獲得最好的回報。 (廖大經 提供)

第貳章　昆蟲遷徙的研究概況

第一節 研究發展沿革

昆蟲因體型較小，分散 (dispersion) 及遷徙 (migration) 活動不像鳥類或魚類之季節性遷徙或迴游受人注目，但事實上如前言所述，在聖經「出埃及記」中，就有耶和華指使東風把蝗蟲颳到埃及，懲罰法老王的故事；另外，在「史記–秦始皇本記」中，記載於公元前 243 年蝗蟲在中國遷移危害的史實，一直至清代陸續有蝗蟲隨風入侵危害農作物的記述 (陳等 1985)；在日本及韓國於公元 1000~1500 年間亦有「蟲」、「蝗」突然大發生，引起作物嚴重損失的紀錄 (岸本 1975；Paik 1977)，但對於那些遷移性昆蟲從哪兒來，可能到哪兒去，在當時尚懵然不知。直到 1920~1930 年代才開始有人利用飛機在高空捕捉浮游於其間之生物，發現至少在 4,500 公尺高度範圍內的空中存在有不同種類的昆蟲、蜘蛛和蟎類 (Johnson 1995)。Glick et al. (1939) 利用飛機在美國路易斯安那不同高度的空中，網捕漂浮於其間的生物，在白天於 10,000 分鐘的取樣時間中，共捕獲 28,739 隻浮游在空中的生物，包含昆蟲類、蜘蛛和蟎類，分屬於 20 目、216 科、824 屬和 750 個以上已命名的生物種 (species)，其中昆蟲大多分布在地面

上 1,500 公尺以內，但最高可達 4,200 公尺；而蜘蛛類的分布最高則可達 4,500 公尺，高度越高捕獲數量越少。在昆蟲類總捕捉數量中，屬於雙翅目的昆蟲數量最多，其次依序為鞘翅目、同翅目、膜翅目及半翅目的昆蟲；數量較少者有鱗翅目、囓蟲目及蜻蜓目等 13 目。夜間在空中可捕捉到昆蟲的種類較白天捕捉的為少，但密度卻遠高於白天捕捉者。另外，鄧 (1980) 於 1977~1979 年夏、秋間，利用飛機攜帶捕蟲網在大陸華中上空捕獲 3,565 隻昆蟲，分屬於 84 種，其中以屬於同翅目昆蟲數量最多，其次為雙翅目和半翅目昆蟲。事實上，在空中活動昆蟲種類與密度受季節及氣候因素，如溫度、風速、風向、光度及降雨等的影響很大，一般而言，體型較大的昆蟲在空中分布的高度較低，而小型昆蟲可分布至較高的空中，可能與小型昆蟲有相對較大的體表面積，具有較大的浮力有關 (Glick 1939)。在當時那些在空中不同高度被捕獲的浮游性昆蟲並未被辨別是否為遷移性昆蟲，直至 1940 至 1960 年代，對於一個地區某種害蟲之突然大量出現與綜觀幅度天氣系統 (synoptic scale weather system，泛指地面上對流層以內之空間，主宰水平範圍幾百至幾千公里逐日天氣變化的氣旋和反氣旋系統之氣象因素) 的關係進行研究後，有關昆蟲遷移飛行的研究報告開始大量增加，且許多新

技術，如地面上、海上及空中採集遷移昆蟲之裝置，標識釋放及再回收之應用，地面、海面、或空中雷達對昆蟲遷移飛行的追蹤觀察，氣流的後（逆）向或前向流軌線分析 (backward or foreward trajectories analysis of air)，以及預測之模擬等之應用於探測昆蟲遷移飛行現象等，大大地增進人們對昆蟲長距離遷移的認識。藉由這些知識的累積，讓人們確認了許多新的長距離遷移性昆蟲 (Johnson 1995)。至 20 世紀末，經確認具有長距離遷移能力之農作物害蟲，在北美地區主要者有 28 種，其中屬於鱗翅目昆蟲者有 18 種 (夜蛾科占 13 種、蝶類 3 種)，屬於同翅目昆蟲有 7 種 (蚜蟲 4 種、葉蟬 2 種) (Johnson 1995; Raulston et al. 1986)；在歐洲及非洲主要者有 32 種，其中在非洲及地中海地區，蝗蟲類占 11 種為最多，夜蛾科昆蟲有 7 種；在歐洲地區，夜蛾科昆蟲有 4 種，螟蛾科昆蟲有 3 種，其他尚有小菜蛾 (*Plutella xylostella*)、大菜粉蝶 (*Pieris brassica eieris*)、科羅拉多金花蟲 (*Leptinotarsa decemlineata*)、沙漠飛蝗、桃蚜 (*Myzus persicae*) 及蘇俄麥蚜 (*Diuraphis noxia*) 等 (Day & Knight 1995; Dedgley et al. 1995; Gatehoust 1986; Lecoq 1995; Wilson 1995)；在澳洲地區主要遷移性害蟲屬於夜蛾科昆蟲有 5 種，蝗蟲 1 種 (Australian plague locust, *Chortoicetes terminizera*)

(Gregg et al. 1995; McDonald 1995; Walden 1995)；在亞洲則以褐飛蝨 (*Nilaparvata lugens*)、白背飛蝨 (*Sogatella furcifera*)、斑飛蝨 (*Laodelphax striatellus*)、瘤野螟 (*Cnaphalocrocis medinalis*)、粟夜盜 (*Mythimna separata*)、小地老虎 (*Agrotis yipsilon*)、直紋稻苞蟲 (*Parnara guttata*) 及東亞飛蝗 (*Locusta migratoria manilansis*) 等為主 (甘肅農科院 1984；李 1964；張等 1980；程等 1979；賈 1985；Hirai 1984; Kisimoto 1976; Otuka 2009; Otuka et al. 2010, 2012; Syobu et al. 2011)，其他如馬來黑椿象 (*Scotinephora coarctata*) (Chang et al. 1991; Sagun et al. 1991)、蚜蟲類，以及紫斑蝶、青斑蝶等蝶類 (陳 2014；趙 2009；流等 2004；Chu 1991; Murai 1991; Wiktelius 1984) 等亦有零星報導。

從上述不同地區已紀錄之長距離遷移性害蟲種類中，有許多害蟲，如球菜夜蛾 (切根蟲)、蕪菁夜蛾 (*Agrotis segetum*)、擬尺蠖 (*Trichoplusia ni*)、蕃茄夜蛾 (玉米穗蟲) (*Helicoverpa armigera*)、粟夜盜 (*Mythimna separata*)、甜菜夜蛾 (*Spodoptera exigua*)、小菜蛾、桃蚜、玉米蚜 (*Rhopalosiphum maidis*)、麥長管蚜 (*Macrosiphum avenae*) 及粟縊管蚜 (*Rhopalosiphum padi*) 等，已紀錄於歐、非、北美及亞洲等地區 (Colvin 1995; Dixon et al. 1968; Harcourt &

Cass 1966; Ishii & Hidaka 1979; Kennedy 1950; Nottingham et al. 1991; Riley et al. 1992; Showers et al. 1993; Smelser et al. 1991; Walters & Dixon 1984; Yamada & Umeya 1972)。雖然上述害蟲也有分布於臺灣，但在臺灣迄今尚無有關該等昆蟲遷徙之研究報告可供查考，有待進一步探究。

有關昆蟲遷徙的研究報告自 1960 年代以後開始大量增加，其中除沙漠飛蝗及少數昆蟲外，遷移性昆蟲的研究報告絕大多數出現於溫帶地區，可能與亞熱帶或熱帶地區因大多數昆蟲可以在當地周年繁殖，只是其族群因季節變化而有起伏消長，而且因世代重疊嚴重，很少有人注意到是否有昆蟲由外地遷入，或由本地遷出之現象。但從近年研究，已可瞭解除溫帶地區外，在亞熱帶及熱帶地區昆蟲之長距離遷移已有許多案例可考，如早年從菲律賓遷入臺灣之東亞飛蝗 (王 1949；素木等 1933)，在西非及馬達加斯加 (Madagascar) 之亞洲飛蝗 (*Locusta migratoria migratorioides*)、馬達加斯加飛蝗 (*Locusta migratoria capito*)，及在北非、南歐與印度間遷徙之沙漠飛蝗等 (Pedgley et al. 1995)。此外，如褐飛蝨及白背飛蝨等可自南越遷往北越，然後再由北越或菲律賓的呂宋島遷往臺灣、華南、華中、華北、日本及韓國等地區 (汪等 1982；Sogawa 1995, 1997; Kishimoto & Sogawa 1995)；在馬

來亞及菲律賓遷移之馬來西亞稻黑蝽象 (*Scotinophara coatrctata*) (Chang et al. 1991; de Sagun et al. 1991)，以及最近在臺灣頗受人們關注的紫斑蝶，在臺灣南北遷徙的事例都發生在亞熱帶及熱帶地區，顯示昆蟲長距離遷飛的現象並非只限於在溫帶地區。

在亞熱帶及熱帶地區，人們一直以為因天氣溫暖適於昆蟲周年繁衍，而很少注意到因乾旱的天氣以及寄主營養的衰弱 (無論是受氣象因素或耕作制度的影響) 等因素，亦可引起昆蟲之遷徙。吾人除應留意可能在本地遷徙十幾至數十公里之害蟲外，需特別留意到有哪些害蟲可能自海外臨近地區遷入臺灣，因為那些由海外遷入者之生理特性 (如生物 (理) 小種、抗藥性及可能媒介之病害等) 可能有異於本地種 (劉等 2004；Matsumura et al. 2007; Sogawa 1992)，尤以同翅目昆蟲 (如蚜蟲、葉蟬、飛蝨及粉蝨類等) 之遷徙，因有可能傳播病毒病害，更值得留意有否可能自境外遷入臺灣。此外與家畜、家禽和人類疾病有關之衛生昆蟲，如蚊、蠅、蚋等類，有很多種是為重要病害之媒介昆蟲，這些昆蟲有否可能由境外隨氣流遷徙侵入臺灣，亦應需要特別留意 (Stein 1986)。

第二節 遷移性昆蟲之生理機制

昆蟲遷移飛行是因為逃避不良環境，不管是生物性環境 (寄主植物之有無或營養狀況或同類或他類昆蟲之競爭) 或物理性環境 (光照週期、溫度或乾旱等)，由原棲地遷徙到適於其生存繁衍的地區的飛行活動。無論該項活動是自行飛翔或靠氣流載運遷移，遷徙活動是受前大腦亞中區之神經分泌細胞 (neurosecretory cells of the pars intercerebralis，對內分泌器官具調節控制作用)、咽側體〔corpora allata，分泌及調節青春激素 (juvenile hormone, JH)、側心體〔corpora cardiaca，產生脂質利用激素 (adipokinetic hormone, AKH)〕或前胸腺 (prothoracic glands，分泌蛻皮激素對飛行活動具有調節作用) 等腺體所分泌之激素所支配，其中以青春激素之分泌量，對昆蟲之遷飛行為與卵巢發育具有雙重調控作用，分泌量高時可刺激成蟲卵子之形成，但若青春激素分泌的滴定濃度 (JH titer) 未滿足生殖系統需要的門檻 (threshold) 數值時，則卵子之發育受到抑制，卵巢停滯發育，形成所謂卵子形成與遷移飛行相互牽制之徵狀 (oögenessis-flight syndrome) (陳等 1979；張 1979；Goldsworthy & Wheeler 1996; Highnam & Haskall 1964; Johnson 1969; Mayer & Candy 1969; Rankin et al. 1986; Zhang 1991)。

昆蟲的遷移飛行是從空間逃避不良環境，而遷移飛行需消耗很多的能量，當環境因素達到昆蟲遷移飛行的門檻時，遷移性昆蟲會調控其激素的分泌量以抑制卵巢發育，儲存遷移飛行所需的能量，準備遷徙行動。

昆蟲之遷移飛行，一般在雌蟲還處於卵巢發育幼嫩階段之後期，成蟲交尾前發生，而於遷移飛行途中 (如部份飛蝗及蝶類)，或降落新棲地取食後 (如同翅目及蛾類等昆蟲) 再行交配、產卵。因此在遷出地對遷出世代雌蟲的卵巢進行系統解剖，可發現絕大部分 (35~100%) 雌蟲的卵巢處於幼嫩階段 (發育 1 級) 者占絕對優勢，但在降落地面後的成蟲絕大部分已完成交尾，且卵巢發育已進入卵黃沈積期或沈積期後的階段 (發育 2 級)，因此雌成蟲之卵巢發育程度，常被利用於判別是為即將遷出，或者是屬於始遷入之成蟲的重要依據 (張 1979；Kennedy 1961; McNeil et al. 1995)。

遷移性昆蟲在遷移飛行過程中需消耗許多能量。觀察經長距離遷移之昆蟲，如帝王蝶、沙漠飛蝗、褐飛蝨及瘤野螟等，其脂肪含量都呈明顯下降 (陳 1983；張等 1983；Brown & Chippendale 1974; Candy et al. 1976; Fulton & Romney 1940)，顯示脂肪為遷移飛行之主要能源。但事實上，昆蟲飛行期間消耗的能源，因昆蟲種類而略有不同，即使是同一種

昆蟲，在飛行途中之不同階段，消耗的能源亦有可能不相同，醣類、脂肪及氨基酸等都有可能被燃燒氧化提供飛行所需的能源 (McNeil et al. 1995)。若干雙翅目及膜翅目的昆蟲，主要利用血淋巴液 (haemolymph) 中之菌藻糖 (trehalose) (雙醣類) 和肝糖 (glycogen，類似植物的澱粉 (starch)，由 α-葡萄糖聚合成的多糖類為動物最主要儲存醣類) 為飛行能源；而某些鱗翅目或直翅目昆蟲，在開始飛行時利用糖原、菌藻糖或遷徙中取食之葡萄糖 (glucose) 為能源；但持續飛行時，則以分解及燃燒 (氧化) 儲存於脂肪體或腸道之脂肪為能源 (Goldsworthy & Wheeler 1986)。

在各種遷移性昆蟲之中，有關昆蟲遷移飛行之能源代謝，以沙漠飛蝗之研究較為深入。沙漠飛蝗在起飛後是利用糖原、菌藻糖或遷徙途中取食之葡萄糖為燃料，起飛後經 10~15 分鐘脂質之釋出是受單酚胺 (monophenolic amine) 及由胸部神經結 (thoracic ganglia) 釋出之酚乙醇胺 (octopamine) 所活化 (Orchard et al. 1993)，但不久其角色就被脂質利用激素 (AKH) 所取代。AKHs 活化脂肪體之三醯基甘醇 (triacylglycerol) 轉化為二醯機甘醇 (diacylglycerol)，並以脂蛋白 (lipoproteins) 形態隨血淋巴輸送至飛行肌，作為飛行燃料 (Bailey 1975; Dudley 1995; Goldsworthy & Wheeler

1986; Jutsum & Goldworthy 1976; Mcneil et al. 1995; Sackor 1975)。

由於昆蟲的遷移飛行是受體內激素所支配，在適合遷移飛行的環境條件下遷出，遷出時呈現不由自主地成群結伴，朝向空中某一角度往上衝出，然後無論是靠本身力量或藉氣流的載運而遷移至新的棲息地。此種遷徙的現象與昆蟲因日常生活的慾望需求活動 (如食物、交配、產卵等)，無定向的擴張其個體活動空間的擴散 (dispersal) 有很大的差異 (Danthanarayana 1986; Johnson 1969, 1960)。

昆蟲的遷移飛行雖為其生存策略的一種，但因昆蟲的許多性狀是受遺傳因子所支配，就目前所知，大多數的性狀，如多型性 (polymorphism)、抗藥性 (resistance to insecticide)、生物小種 (biotypes) 以及適應性 (adaptability) 等等是受數量因子 (polygenes) 所支配 (Cheng 1985; Dingle 1986; Sogawa 1981; Tojo 1991)，因此遷移飛行有利於昆蟲種內的基因交流，對形態、生理及行為的演化上具有深遠意義 (Dingle 1986)。

第三節　飛行邊界層與昆蟲的遷移方式

昆蟲的遷移飛行，大體上可分二大類型，其一是靠昆蟲

本身力量飛行，行定向遷移，是為自力遷移型 (resource-independent long-range flight insects)；另一類則靠氣流 (風) 的載運，隨氣流之方向遷移，遷移速度及方向無法自主，稱為風載型遷移昆蟲 (wind-dependent or windborne migratory insects) (Drake & Farrow 1988; Dudley 1995; Taylor 1958)。為便於說明，在論述這兩種遷移飛行之前，先就與生物活動較密切，貼近地球表面的大氣層加以概述，較易瞭解昆蟲遷移飛行之過程與氣象條件的關係。

在靠近地球表面 1~2 公里高度內之對流層 (troposphere) 是影響地面上生物最為直接而顯著的一層，此一層大氣一般稱之為「地球邊界層」(planetary boundary layer，簡稱 PBL)。在 PBL 層內通常含有對流及穩定兩型：前者係因白天地面受日照溫度上升，空氣呈垂直循環運動，PBL 可達由數百公尺至千餘公尺，隨緯度及日照與溫度強度而異，水平風速雖然受地面及地貌之摩擦作用，以及上升及下降氣流之影響而變慢，但整體而言，其風速由下往上快速增強，至 1,500 公尺以上之高空，氣流因受地面摩擦已少，由該高度以上至地面上 10 公里左右之對流層頂 (tropopause)，風速幾乎與地轉風速 (geostrophic wind speed) 相等。然因受 Ekman 螺旋 (Ekman spiral) 作用，在北半球，氣流順時鐘方向移動，且

與等壓線 (isobars) 平行。一般在日落前一小時左右，因地面熱氣輻射 (radiation) 的冷卻作用，氣體垂直運動幾近停止，地表幾近無風狀態，PBL 變成很薄 (淺) 而呈穩定的層面化，隨之氣溫開始逆轉 (temperature inversion)，溫度隨時間之進展而逐漸由地面往上層增加，地表風速亦隨高度而增強，並與地轉風在地表上 100~600 公尺處形成風切 (wind shear)，此種現象在受高壓所控制之地區，當晴空萬里無雲的夜晚，地面無風時最為明顯 (王與陳 1980；Drake & Farrow 1988; Johnson 1995)，在逆溫層頂上之氣溫就依乾絕熱直減率隨高度而下降 (Farrow 1986)，因此夜間遷移性昆蟲都集中在較為溫暖的逆溫層；以雷達觀察，發現遷飛蟲於近逆溫層頂之 200 至 600 公尺之高空的密度最高 (程等 2005；Beerwinkle et al. 1991; Wolf et al. 1986, 1990)。

在對流層貼近地面十數公尺厚 (高) 度之大氣層，風速因受地面摩擦而變小，當風速小於昆蟲飛行速度，使昆蟲在逆風狀況下仍可以保持定位飛行，此一大氣層一般稱為「飛行邊界層」(flight boundary layer, FBL) (Toylor 1958)。FBL 的厚度隨著地貌、樹木覆蓋的程度、建築物以及昆蟲的大小及其飛行能力，和季節溫度、風速變動等因素而變動，本質上是呈現動態而無法正確界定。在無風的情況下或對飛行能力較

強的昆蟲，FBL 變得較厚 (高)；在有風情況下，隨著風速增加而變薄；當風速太大而致使遷飛的昆蟲無法忍受時，飛行即行停止。由於風速受許多因素影響而變動，因此無法明確訂出某種昆蟲的 FBL 的高度，但瞭解 FBL 的概念後，對於認識一種昆蟲遷移飛行的行為和軌跡具有相當的幫助 (Dudley 1995; Farrow 1986)。

遷移性昆蟲在白天於 FBL 下遷徙者，大體可保持其遷徙的方向，但此類昆蟲須靠其自身體力飛翔，遷移速度較慢，且因體力消耗很大，在遷移途中需數次停頓取食補充體力 (Brower 1985; Gatehouse & Zhang 1995; Walker 1985; Williams 1930)。在此類昆蟲中，除帝王蝶可重複利用上升氣流盤旋升空後，再利用滑翔下降的技巧飛翔遷移外 (Gibo & Allett 1979)，一般遷移性蝴蝶，如紫斑蝶等大多依靠其翅膀連續拍打飛行，飛行的方向雖不受地區性風向或綜觀幅度 (synoptic scale) 的氣象影響，但其身體在飛行中可能因風向的不同而有呈現迎風、身體側面向風或是順著風向遷飛。這類昆蟲大多以太陽方位或地貌特性，如海岸、山麓沿線以及特殊地貌為導向，飛行高度通常在地面上 3~10 公尺，順著一定的軌跡飛行 (Baker 1978; Walker 1985; Williams 1930)。

風載型遷移性昆蟲，一般於起飛穿越 FBL 後靠氣流的載

運，順著風向遷徙，飛行速度與方向無法自主。此類遷移昆蟲之飛行高度隨昆蟲種類、遷移季節之溫度及風速等而異，由數十公尺至 3,000 公尺左右，而遷移速度遠高於靠自力飛行遷徙者，在一天之內就可能遷移數百公里至一千公里以上。如直翅目的蝗蟲，同翅目的蚜蟲、飛蝨及葉蟬類，以及鱗翅目之蛾類等屬之。下面僅就幾種風載型遷移性昆蟲之遷徙概況簡述如下：

群居型之沙漠飛蝗及亞洲飛蝗之長距離遷移，其起飛溫度在 17~21℃間，一般於晨間起飛前，以身體側面對著太陽暖身，其後先由一小群的個體向上起飛，誘發其他蝗蟲個體群一起飛行，於短短 20 分鐘內一大群蝗蟲即行起飛，穿越 FBL 順著風向遷移 (散居型者則多於夜間遷移)。以雷達觀察，在飛行蝗群內各個蝗蟲的頭並不完全朝向同一方位，但整體卻是順著風向飛行，風速較小時 (小於 1.5 公尺/秒) 蝗蟲迎著風起飛，風速較大時 (＞3 公尺/秒) 變為順風飛行，風速太強時，則可迎風降落。遷飛之蝗群於傍晚時著陸休息，次日再繼續起飛遷移，通常在風的輻合區 (convergence)，因雨水及食物豐沛而結束遷移 (Farrow 1990; Riley & Reynolds 1983; Uvarov 1977; Waloff 1958, 1959, 1972)。

蚜蟲的遷移飛行主要是受寄主營養、族群的擁擠度、天敵及氣候條件的刺激而引起。遷移飛行的蚜蟲其卵巢發育亦呈停滯現象，大部分蚜蟲對短波光 (紫外光及藍色光等) 具有正趨向，一般於天氣晴朗的白天，利用上升氣流呈 S 曲線起飛升空，穿越 FBL，就順著氣流的方向，可遷移到數十至上百公里以外的地方。遷移途中蚜蟲的趨光性逐漸改變，對來自地面和生長植物的長光波的趨向漸增強，使其飛行高度逐漸降低、著陸終止遷飛。這種趨向性的改變及著陸亦可能與太陽的降落及溫度下降等因素有關 (陳等 1985；劉等 2004；Dixon & Howard 1986; Kennedy 1961; Moericke 1955; Nottinghan et al. 1991)。

屬於同翅目昆蟲的葉蟬、飛蝨科及鱗翅目的蛾類等，一般於傍晚時分起飛，在此時由於大氣對流幾已停止，地面趨於平靜無風，逆溫層逐漸形成。遷飛昆蟲需靠自己力量起飛升空，穿越 FBL 後，才能藉明顯的氣流載運遷移。在 FBL 上面遷移飛行的昆蟲，在夜間大多集中於逆溫層頂，約於地面上數百公尺至 1~2 公里 (Kenney 1975)，遷移飛行的方向無法自主，被氣流帶著遷徙，遷徙速度隨風速而變，每日可遷徙數百公里 (風速 5~20 公里/時)；若遇低層噴射氣流 (low level jet)，如在春夏交替期中，出現於美國密西西比河灌溉盆

地 (MRDB)，或於梅雨期由南中國海、東海或華中至日本地區，風速可超過每秒 21 公尺 (75.6 公里/時)，在此風域內遷徙之昆蟲，在 1 天之內即可遷移達 1,000 公里以上 (Drake & Farrow 1988; Johnson 1995; Kisimoto 1976; Seino et al. 1987; Watanabe 1995)。

風載型的遷移性昆蟲於遷出地面穿越 FBL 後，就順著風向遷移飛行，當進入輻合區 (convergence)，如間熱帶輻合帶或鋒面系統時，隨著下沉氣流或下雨而降落地面。用天氣圖分析時，遷移飛行的昆蟲常常在鋒後槽前區隨著降雨或下沉氣流而聚集降落。如水稻褐飛蝨在中國大陸向北遷移的過程中，常在鋒線前的溫暖區域遷出，而於鋒線後至槽前的區域隨著下沉氣流或下雨降落；在受太平洋副高壓或西伯利亞冷高壓天氣型控制時，昆蟲降落區大都出現在高壓中心附近的下沉氣流，或副高壓的西北方，或在大陸冷高壓的東南方之風切線附近的下沉氣流，或降雨區域中 (江等 1981；Kisimoto 1976)。

昆蟲的起飛遷出、轉運與降落的過程，都有若干程度的自控能力，特別是在 PBL 內遷移飛行的昆蟲，如遷移飛行的蝴蝶具有控制遷移飛行的方向與降落的能力 (Brower 1985)。在 PBL 上遷移之風載型遷移性昆蟲，其降落雖受氣象

條件所左右，但在降落的過程中，自控能力亦隨接近地面而逐漸加強，對來自地面不同植物發出的長光波有定向反應的表現，並在飛翔行為上作出反應 (Kennedy et al. 1961; Moericke 1955)。昆蟲降落地面時，在有風的情況下，通常頭部迎著風向或身體與風向保持某種角度，直至著陸；若風速太大，超過昆蟲飛行速度時，則很難降落，只能在植被附近或障礙物背後，風速較低的地方著陸，因此在風障後之背風區的落蟲量常較面風方位為高。白天飛行的昆蟲在背風地區群集的效應要比夜間飛行的昆蟲更為明顯 (Noda & Kiritani 1989)，此與無翅膀的蜘蛛或惰性顆粒的分布幾乎近似 (Lewis 1965)。

昆蟲的遷徙，如蚜蟲，由於其寄主在地區之分布較為均勻，只須經歷數小時飛行數十公尺或數公里，即足以讓牠們尋得其適當的寄主 (劉等 2004；Loxdale et al. 1993)；但風載型的遷移性昆蟲，大部分須遷徙數百公里至上千公里以上，才可能讓它們在因為季節變遷，或地域間寄主栽培期差異的情況下，找到適合其生存的棲息場所 (Kisimoto & Sogawa 1995; Walden 1995)。有些昆蟲如亞洲飛蝗 (Farrow 1975)、褐飛蝨 (Padgham et al. 1987) 及蚜蟲類 (Loxdale et al. 1993) 等，通常只進行一次較長距離的遷移飛行，降落地面後若環

境不良，亦可能進行若干次短距離的遷移；但若干種類昆蟲，如大馬利筋長蝽 (milkweed bug, *Oncopeltus fasciatus*) (Caldwell & Rankin 1974)、粟夜盜 (李等 1964)、瘤野螟 (張等 1980)、小地老虎 (*Agrotis yipsilon*) (Showers et al. 1993) 及帝王蝶 (Brower 1985) 等鱗翅目昆蟲，可藉多次的遷移飛行與降落才完成其遷徙；而澳洲飛蝗 (*Chortoicetes terminifera*) 的遷移可以是單夜或是連續數夜的飛行，視氣候條件是否適於遷移飛行而定 (Symmons & McCulloch 1980)。

第四節　昆蟲遷移飛行之氣象條件

有關昆蟲長距離遷移與氣象條件之關係已有許多綜合論述，無論是起飛、遷徙飛行及降落著陸的過程都與氣象條件，如風、氣流之水平與垂直運動、風速、風向、溫度、光度、濕度及降雨等都有密切關係 (江等 1981, 1982；Dake & Farrow 1988; Kisimoto & Sogawa 1995; Muller 1985; Pedgley et al. 1995)。爰將其中與遷移飛行關係較密切者分述如下：

1. 溫度

溫度 (temperature) 可影響遷徙昆蟲的起飛、飛行高度及下降著陸。溫度若低於其飛行臨界低溫 (常用「溫度閾值」

表示，大多數昆蟲的飛行臨界低溫介於 12~17℃之間)，或遇到大風、陰雨的天氣，則不起飛，直至天氣轉晴回暖，才成群起飛遷移。大氣的溫度是隨地面向上的高度而遞減。如以 1,000 hPa 氣壓高度為「位溫」(potential temperature)，則在對流層內於空氣中含有水氣未達飽和狀態下之乾絕熱直減率 (dry adiabatic lapse rate)，大約為每上升 100 公尺降低 1℃，依此計算則當地面溫度達 32℃時，上空 1,500 公尺之溫度約為 17℃，接近褐飛蝨飛行低溫臨界 16.5℃。遷移飛行的高度除受飛行臨界低溫所限，亦受季節溫度所左右，如褐飛蝨及白背飛蝨於華中夏季在晨、暮時起飛；在秋末則在午後溫暖時刻升空，且飛行高度較夏季為低。但每種昆蟲之飛行臨界低溫互有差異，飛行適當溫度範圍亦不相同。以雷達觀察，遷移性昆蟲於空中之密度，大部分集中在其適當溫度層飛行 (多數昆蟲在 20~25℃) 之高度 (在白天通常在地面上 1,000~1,500 公尺)，尤其在 850 hPa (1,500 m ASL) 圖面上具有氣流輻合的天氣系統的情況下最為明顯；但實際上在 100~3,000 公尺之高空中均可觀察到遷移飛行昆蟲的蹤跡 (鄧 1980, 1981；Chen et al. 1995; Farrow 1986; Johnson 1995)。

2. 光度

光度 (light intensity) 亦為影響遷移昆蟲起飛的重要因素之一，有些遷移性昆蟲，如蝗蟲類、蚜蟲類及遷移性蝴蝶類等在白天起飛遷移，鱗翅目之蛾類一般都在夜間遷出，而同翅目之葉蟬與飛蝨類昆蟲都在傍晚及黎明，光度在 0.1~100 勒克斯 (lux) 時起飛，但在秋季溫度較低時則改在午後溫度較溫暖時起飛 (程等 1979；Gatehouse & Zhang 1995; Zhang, 1991)。光度亦影響遷移性昆蟲之飛行行為，昆蟲的遷徙可在清晨或傍晚起飛或降落，其起飛與降落可重複交替進行，具有一定時辰的節律。只在白天遷移飛行者，若以太陽方位定向飛行，日落即意味著停止飛行，如遷移性蝴蝶及蝗蟲等；在夜間遷移飛行的昆蟲亦可能與一定光的強度有關，如瘤野螟 (Zhang 1991) 及粟夜盜 (李等 1964) 等夜間飛行昆蟲，無論使用雷達觀察或直接捕捉紀錄均顯示於黎明時刻降落 (Johnson 1969; Wolf et al. 1986; Zhang 1991)。

3. 氣流 (風)

氣流 (air current) 是因輸送地球表面的熱量、水分所產生的運動。陽光照射加熱於地面後，地面上附近的熱空氣及水蒸氣就會往上升，若在高空遇到低溫，在小範圍可產生雲、

雨，形成垂直運動；在大範圍則上升的熱空氣可和兩極的冷空氣交流，構成一種主環流，導致大規模的大氣水平運動。在北半球，主環流的運動方向最初與等壓線呈直角交接，但因受科氏力 (coriolis force) 和地球自轉離心力 (centrifugal force) 的影響，使其運動方向偏向東方移動，與等壓線 (isobars) 平行。然而主環流靠近地球表面層因受地表的摩擦作用，以及海、陸受熱及散熱等的差異而導致氣體的膨脹與收縮，引起氣體的流動和壓力的變化。在夏季地面受熱較鄰近的海面強烈，但因熱容量較低，受到的熱能大多輸送到上面的空氣中，在上面對流層下部，就發展一個熱力性低壓系統，相對於地面低壓的上空就形成高壓。按熱力環流，高空就建立一種向外的輻散 (divergence) 氣流，而地面附近發生向內的輻合 (convergence) 氣流。在冬季，地面的輻射 (radiation) 冷卻較海洋強烈，這種冷卻自上面的空氣取得熱量，因而空氣垂直收縮，地面產生大陸性高壓，它的上面則有一高空低壓，其環流則與夏季相反 (王與陳 1980)。有關氣流運動形成的詳細情報，請參閱有關氣象學書本。本文謹就有關風與昆蟲遷移飛行的關係作簡要概述。

大氣 (風) 之運動方向是受氣壓及天氣系統所支配，而風載型遷移性昆蟲之遷移則受綜觀幅度 (synoptic scale) 氣

象，也就是主宰逐日天氣變化的天氣系統，如低壓 [又稱氣旋 (cyclone)]、高壓 [又稱反氣旋 (anticyclone)] 及鋒面 (front) 等之影響最為密切 (江與談 1981；Chen et al. 1995; Kisimoto & Sogawa 1995; Johnson 1995; Pedgley et al. 1995)。爰將風之形成及上述各種天氣系統與昆蟲之遷移的關係分述如下：

(1) 氣壓與風

氣壓 (air pressure) 是指單位面積上承受大氣重量所作用的壓力，靠近海面之氣壓值約為 1,000 hPa，氣體的質量是隨溫度之遞減而下降，氣壓亦隨之下降，在地面上 1,500 公尺的氣壓約為 850 hPa，在 3,000 公尺高空則約為 700 hPa，到 6,000 公尺降為 500 hPa，到 50 公里以上則幾接近於零。而大氣的運動是由高壓向低壓方向流動。在水平面的任何高度，將氣壓數值相同的各點連成之曲線稱為等壓線，在等壓線的兩側任何兩點的氣壓值都不相等，兩點之間就產生氣體的流動是謂「風」。在高空中氣體流動不受地面摩擦的情況下，兩點之間的氣壓差稱為氣壓梯度力 (pressure gradient force)，它的作用方向，在北半球地轉偏向力指向空氣運動方向的正右方，空氣運動方向則和等壓線平行，運動方向的左

側之氣壓較低，右側之氣壓較高。風力的大小與等壓線的密集度有關，等壓線愈密風速越大。但在接近地面的大氣層，空氣運動方向因受地貌摩擦的影響，與等壓線有 15~30°的交角。在南半球，地轉偏向力及空氣運動的方向則與北半球相反 (王與陳 1980；陳等 1985)。

昆蟲之遷移飛行與氣流之垂直或水平運動都有很密切的關係。氣流的運動方向與強弱對昆蟲的遷徙有很大的影響，大部分的昆蟲喜歡在天氣晴朗、微風或無風的情況下起飛，上升氣流有助於遷飛蟲的升空，而沉降氣流或降雨則可迫使遷移飛行中的昆蟲下降著陸。高、低壓及鋒面的位置則影響昆蟲遷徙的方向，風速太大則可抑制遷徙昆蟲起飛或下降著陸的地點，大型蟲體受影響較小型蟲體為大 (李等 1996；程 2003；Farrow 1986)。

(2) 氣旋

氣旋 (cyclone) 又稱低氣壓。一個地區的氣壓比周圍地區的氣壓為低，則稱該地區為低壓區，氣壓最低的地點稱為低壓中心，由該中心向外伸展的等壓線呈顯著彎曲的地區稱為低壓槽 (depression trough)，將低壓區各等壓線最彎曲的地點用一條線連接起來，該連接線稱為槽線。在北半球，低氣

壓區的風是由外圍向中心吹，同時作反時鐘方向旋轉，因低層空氣不斷向中心輻合，在低氣壓中心附近產生上升氣流，有利遷移昆蟲之升空。當上升氣流的水氣在高空中遇到低溫形成雲層，天氣不穩而多陰雨或下沉氣流，就可以迫使遷移飛行中的昆蟲下降著陸。但在數千公尺上的高空，氣流基本上是呈波浪狀，在低壓槽的後面緊接著高壓脊的前部，因風向與等壓線平行，低壓槽前常吹濕暖的西南氣流，且有輻合上升運動，槽前雲量增多，常帶來陰雨天氣，尤其在槽線附近最為明顯；在槽線後盛行乾冷的西北風，氣流呈現輻散下沉運動，有利遷移飛行中的昆蟲下降著陸。在中緯度地區因盛行西風，低氣壓因受西風的牽引，一般多是從西南向東北移動，每天約可移動 300 至 1,800 公里，而低壓槽大多向東南伸展 (王與陳 1980；江等 1981, 1982；陳等 1985)。

移動性小型低壓，其規模雖小 (通常只跨 1~2 個緯度)，但若出現位置適當 (如在臺灣海峽北端靠近華南海面或在巴士海峽) 亦可帶來長距離遷移昆蟲由中國大陸入侵臺灣，尤其是幾個小型低壓同時在一個地區出現，所形成較大的低壓環流可能導入之遷移蟲的數量更為可觀。此種小型低壓或低壓環流，常在每年 8 至 9 月中於臺灣附近海域出現 (鄭與盧 1990)。

(3) 熱帶氣旋

熱帶氣旋 (tropical cyclone) 為熱帶性低壓擾動發展所形成，當其中心風速超過每秒達 17 公尺以上，在東亞地區稱為颱風 (typhoon)，在北美洲稱為颶風 (hurricane)，在印度稱為氣旋 (cyclone)。熱帶氣旋多數形成於北緯 5~20°海面上，當其中心風速每秒達 11.4~17.2 公尺，相當於 6~7 級風時，稱為熱帶性低壓 (tropical depression)；中心風速達每秒 17.3~32.6 公尺，相當於 8~11 級風時，稱為輕度颱風；中心風速達每秒 32.7~50.9 公尺，相當於 12~15 級風時，稱為中度颱風；中心風速每秒達 51 公尺以上，相當 16 級風以上，稱為強烈颱風。

在東亞地區，颱風在每年 4~11 月之間常在菲律賓東南方太平洋海面上形成，然後往西北方向移動侵襲菲律賓呂宋島、越南，或往北北西方向侵襲臺灣、中國大陸東岸沿海及韓國與日本等地區。由於颱風之氣流與低氣壓相同，由外圍向低壓中心呈逆時鐘方向旋轉，氣旋內有相當旺盛的上昇氣流，若在颱風經過附近有遷移性昆蟲遷出，則遷出昆蟲可受颱風外圍環流之攜帶遷徙，並於風切區 (shearing zone) 隨沉降氣流或降雨而著陸。颱風所引起的氣流是為臺灣地區遷移性昆蟲遷入的主要動力之一 (劉等 1988；鄭與盧 1990；

Cheng 1997; Huang et al. 2010; Kisimoto & Sogawa 1995; Yasuda 1997)。

(4) 反氣旋

反氣旋 (anticyclone) 又稱高壓。在高壓區內氣壓最高的地方稱為高壓中心，由高壓中心向外延伸的部分稱為高壓脊，以等壓線表示。高壓脊就是高壓中心外面的等壓線呈顯著彎曲的地區。在高壓脊內，各等壓線彎區最厲害的地點，用一條線連起來之線條稱為脊線。在高壓區內低空的氣流是由高壓中心向四周輻散，呈順時鐘方向旋轉。由於空氣不斷向四周輻散，因此在高壓中心之上空就會有氣流由四周輻合流下補充，是故在高壓脊內部存在下沉氣流，天氣晴朗、少雨。

在東亞地區的夏季，太平洋副熱帶高壓盛行，高壓脊可由東南向西北伸展至華南或華中沿海省份，在副高壓脊以北，西風槽區域的西南氣流是遷移性昆蟲北遷的輸送氣流，出現在高脊線西北邊緣的槽線或風切線，往往出現陰雨天氣，有利於向北遷移飛行昆蟲的下降著陸。在冬季，盛行大陸冷高壓，氣流由西北向東南移動，是為昆蟲南遷的輸運氣流，在高壓脊的東南邊緣常出現槽線或切變線，具下沉氣流

或陰雨，有利遷移中的昆蟲下降 (江等 1981, 1982；鄭與盧 1990)。

(5) 鋒面系統

鋒面系統 (frontal system) 是指密度不同的兩種氣團在三度空間的交界面或轉換帶，鋒面為該轉換帶與地面的相交線。由於空氣的密度是隨溫度而改變，所以鋒面也是冷、暖兩種氣團相會所形成的一種綜觀幅度的大氣運動。在鋒面的南側為濕暖空氣，另一側為乾冷空氣，當暖氣團被冷氣團抬升，在空中呈一傾斜鋒面，而在高空中 (使用 850 hPa 天氣圖時，約在地面上 1,500 公尺的高度) 形成槽線 (trough) 或切變線 (shear line)。無論是暖鋒 (暖空氣較強)、冷鋒 (冷空氣較強) 或滯留鋒 (冷、暖氣團勢力相當)，在鋒線前出現空氣上升運動，有利於遷移性昆蟲的起飛升空，而在暖氣團後的冷氣團則通常伴有空氣下沉運動，鋒線至槽線之間則通常有雨，是遷移昆蟲之主要降落區 (江等 1981, 1982；鄭與盧 1990；Farrow 1986; Kisimoto 1976)。

在東亞地區，於冬末春初冷氣團較暖氣團為強，鋒面向暖氣團一方移動是為冷鋒，在冷鋒到達前數十公里處，雲層增厚、降低，鋒面經過前可能降下毛毛細雨，溫度劇降，強

風呈順時鐘方向吹襲。在夏初至秋初，暖氣團勢力較強，推動暖氣團向冷氣團方向移動，是為暖鋒。當暖鋒到達時，雲量增加、雲層降低，且有穩定而連綿的降雨。鋒面經過後，風向轉變為順時鐘方向吹襲，天氣轉晴。在 5~7 月間，當冷、暖氣團相當時，鋒面在一個地區來回擺動徘徊數天，是謂滯留鋒。滯留鋒停留期間，風小而陰雨緜緜，俗稱梅雨期。事實上梅雨鋒之雨帶是在 4~5 月由華南開始，6~7 月往華中至日本一帶，7 月中至 8 月中移往華北至韓國一帶。由於鋒前有旺盛的上升氣流，而鋒後又有較強的下沉氣流，對昆蟲遷移飛行具有很大的助益。梅雨鋒被認為是影響東亞地區稻飛蝨由南向北遷移重要的氣象條件 (江等 1981, 1982；鄭與盧 1990；Kisimoto & Sogawa 1995)。

(6) 風切線

風切線 (shear line) 是指風向或風速不同的交界面，一般情況下以風向切變較為常見。風切線兩側風向呈氣旋式旋轉，主要產生於高空，接近於東西走向。由於風切線兩側溫度差異很小，故不同於鋒面。風切線附近的等壓線或等高線很稀疏，亦無明顯的低壓槽出現，因此亦與槽線不同。依風切線附近風場的不同，可分為冷鋒式、暖鋒式及滯留鋒式的

風切線。在冷鋒式風切線，其北側為西北風，南側為西南風，風切線是由北向南運動，降水區在切變線南側；而在暖鋒式風切線，其北側為東北風，西側為西南風，風切線由南向北移動，雨多降於偏東北風的區域裡。滯留鋒式的風切線，北側為東風，南側吹西風，風切線很少移動，氣流的輻合量較小，只能在風切線的附近產生較弱的降雨。上述三種風切線都有空氣輻合上升，天氣陰雨，對昆蟲的遷移飛行具有若干的助力 (陳等 1985)。

(7) 間熱帶輻合帶

間熱帶輻合帶 (inter-tropical convergence zone) 又稱赤道槽 (equatorial trough)，是南北兩半球兩個副熱帶高壓之間氣壓最低區，來自南、北兩半球的信風氣流 (trade wind) (北半球吹東北信風，南半球吹東南信風) 的氣流在此輻合，氣體對流強盛，對熱帶地區昆蟲的遷移飛行有著重要影響。熱帶輻合帶的位置平均緯度在北緯 13°至南緯 4°間徘徊。在 7 月熱帶輻合帶北移到北半球，位於北緯 2~27°，平均在北緯 12~15°間；在元月份，該熱帶幅合帶南移到南半球，位於南緯 1~17°至北緯 8°間，平均在南緯 5°左右。當熱帶輻合帶在北半球離赤道較遠時，於北側為東北信風帶中的東北風或東

風，南側是南半球的東南信風，越過赤道後轉為西南風。當該輻合帶離開赤道較近時，它的北側為東北信風，南側為南半球的東南信風。當該輻合帶離開赤道大於 5°時，信風氣流可以分裂成低壓槽的一些小氣旋，小氣旋可能發展成為熱帶低壓 (tropical depression, TD)，有的可能發展成颱風或颶風；在小氣旋內有相當旺盛的上升氣流，故而在熱帶輻合帶區的雨量特別豐沛，主要降水區一般位於輻合區兩側附近，範圍通常寬達 200~800 公里 (王與陳 1980；Pedgley et al. 1995)。然而在非洲西部和蘇丹的間熱帶輻合帶兩側具有不對稱的雲雨分布，輻合帶以北的東風信風區一般為晴天，輻合帶以南 300~600 公里對流最強，有陣雨或暴雨，對遷移性昆蟲在此地區之遷徙的狀況具有很大的影響 (Pedgley et al. 1995)。

從上述各種天氣系統氣流的運動方式，可瞭解不同的天氣系統對於風載型遷移性昆蟲遷移具有很大的影響。然而由於昆蟲遷出地及遷入地之相對地理位置，及影響其遷移方向之天氣系統的差異，因此在不同地域，可能影響昆蟲的遷入之氣象條件亦不盡相同。如沙漠飛蝗之遷入地區主要集中於間熱帶輻合帶之東北信風及西南信風之輻合區 (Pedgley et al. 1995)；在北美洲之美國及亞洲之中國，昆蟲之遷移可受低

壓、鋒面、大西洋副高壓 (美洲) 或太平洋副高壓 (中國) 系統的支配 (李等 1996；程等 2003；Johnson 1995)；在日本則主要受梅雨鋒面系統所影響 (Kisimoto 1976; Sogawa 1997)，而在臺灣則可受鋒面、颱風、副熱帶高壓及低壓帶環流等所影響 (劉等 1989；鄭與盧 1990；Cheng 1997; Huang et al. 2010)。一般而言，空氣的突然變冷以及下沉氣流或降雨出現，可以迫使昆蟲降落地面。如在中國於春、夏季，褐飛蝨向北遷移過程中，處在「槽前鋒後」的降雨區常常是褐飛蝨的主要降蟲區。在高壓系統中，如副高壓中心或高壓脊區的範圍內，有較強的下沉氣流，可以迫使遷移飛行的褐飛蝨降落地面；在鋒面天氣型中，出現的降蟲區大多位於鋒線的後方，或槽線、切變現的前方之下沉氣流區；在秋季向南遷移過程中，無論是大陸冷高壓系統的東部，或低壓系統的西部出現向南氣流，降蟲區同樣大部分位於下沉的氣流區中 (江等 1981, 1982；程等 2003；談等 1984)。

第五節 昆蟲遷徙的研究方法

昆蟲遷徙的研究，歷經數十年的進展，業已發展出許多方便於研究的方法，茲將主要者概略介紹如下：

1. 昆蟲飛行能力的測定

在室內控制環境下，應用懸吊飛行磨 (flight mill) 可測定昆蟲在不同溫、濕度條件下之持續飛行時間、飛行距離和飛行速度，藉此瞭解昆蟲的飛行能力，作為判斷一種昆蟲是否可能長距離遷徙之參考 (大久保 1977；Chadwick 1953; Dungle 1965)。

2. 脂肪耗損量

長距離遷移昆蟲之飛行主要依靠燃燒脂肪產生能量，因此在飛行降落地面後，其脂肪含量較未遷徙之同日齡的成蟲明顯下降，可供作為判斷是否為遷移入侵之昆蟲的參考 (張 1983；Padgham 1983)。

3. 雌蟲卵巢發育

遷移性昆蟲大多在成蟲外骨骼硬化後，幼嫩後期至產卵期前 (post-teneral to pre-reproductive period) 遷出，因此

認為遷徙飛行昆蟲有所謂的「卵子形成與遷飛之徵候群」(oögensis-flight syndrome) 的特性 (Johnson 1969; Rankin et al. 1986; Zhang 1991)，表示遷徙與產卵繁殖是為一種交錯的生理狀況。由於引起昆蟲遷移或進入休眠之外界條件，例如短日照、低溫或寄主植物品質 (營養) 低劣等大致相同，且遷移性昆蟲在生理上具有肥厚的脂肪體與未成熟的卵巢，與準備進入休眠的蟲體極為相似，因此無論在生態或生理上，遷移或立即進入產卵繁殖被認為是新羽化成蟲的一種選擇。遷出昆蟲因卵子形成被抑制，一般多處於卵巢發育 1 至 2 級 (卵巢小管稍膨大,但未含有成熟的卵子)，而在遷入地區卵巢大多發育至 3 級或以上 (卵巢小管含有 1~2 個以上的成熟卵子，即將進入產卵盛期)，而由本地區繁殖產生之成蟲則含有不同發育等級之卵巢的個體。根據此一特徵，有系統地由田間採集並解剖雌成蟲，由族群卵巢的發育情況，可供判斷田間成蟲來源的參考 (陳等 1979；張等 1979；Zhang 1991)。但上述情況只發生於遷移飛行與卵子發育受不同滴度 (titers) 之青春激素 (juvenile hormone) 所左右的昆蟲，並非所有昆蟲之遷徙均同樣受該激素的影響 (Ranhin et al. 1986)，如對遷移性蝗蟲而言，神經內分泌系統亦有作用於決定遷移飛行或繁殖，若不遷

徙，則神經內泌物質延遲釋放，有利於卵母細胞之發育 (Highmam & Hashell 1964)。

4. 網捕及誘捕

遷移性昆蟲由某地區遷出，在另一地區降落，勢必影響其族群在遷出地及遷入地之消長。在不同緯度、地區、地貌、或作物上設置誘蟲或捕蟲器具，在適於遷入之氣象條件的日期的捕獲的蟲數有「同時突然增加」的現象，待該氣象條件消失後，則捕獲的蟲數則立即下降 (張等 1980)。遷移侵入蟲的捕捉可利用網捕 (net trap) 或誘捕 (attractant trap) 等方式。網捕遷移侵入昆蟲的偵測，可利用網口可以隨風向自動旋轉的氣帶式捕蟲網 (air born net-trap)，或固定於一個方向或八個方向的定向捕蟲網 (吸捕蟲器)。捕蟲網或吸捕蟲器可設置於不同高度之山頂或島嶼上，亦可在寬廣的平原地區設立於地面上 10 公尺以上的支柱上，藉以捕捉遷入的昆蟲，供作遷入期之研判，遷入量之監測，並可與日後該蟲在田間發生程度相關分析之應用。捕蟲網也可以裝置於飛機上或海上的船隻上，一方面可偵測遷徙昆蟲的遷出時段，在空中不同高度遷移飛行昆蟲的密度，以及遷移飛行的臨界低溫；捕捉的蟲體並可供分析其性比、卵巢的發育狀況及交配率等特

性 (鄧 1980, 1981)。而裝置於距陸地海岸數十至數百公里海面船隻上的捕蟲網，在有利於昆蟲遷移飛行的氣象條件下，若能與陸地同步捕獲大量的蟲體，除可佐證該蟲確實具有遷移飛行的能力外，並可同時據以瞭解該蟲遷入的分布與氣象條件的關係；所捕獲蟲體亦可提供遷移性昆蟲之特性，如生物小種及抗藥性的偵測 (全國褐飛虱研協 1981；岸本 1975；岸本等 1982；劉等 1983)。惟在茫茫的天空及大海中網捕，若能輔以燈光、性費洛蒙或食物誘捕，或可大大地增加捕蟲效率。

誘捕可分燈光誘捕、食物誘捕、有色水盤或黏紙的誘捕及性費洛蒙誘捕等。誘蟲燈誘捕可用於偵察害蟲之遷入及田間害蟲族群消長之長期監測，當有遷移蟲遷入時，捕獲的蟲數就有可能出現不正常的「突然增加」現象 (程等 1979；鄭與盧 1990)；食物誘捕 (如利用鳳梨皮、糖水及糖醋液等) 可誘捕許多種夜蛾科、蝶類及甲蟲類昆蟲 (李等 1964)；而性費洛蒙則多應用於鱗翅目的蛾類及鞘翅目昆蟲的誘集 (石井 1980；Beevor et al. 1983)；黃色或藍色的水盤則多用於誘捕蚜蟲、潛蠅類或薊馬類等昆蟲。無論使用哪一種誘捕蟲器，若在不同地區或地貌上的捕獲蟲數皆有「同時突增」之現象出現時，即需留意有無由外地遷入之可能。

5. 標記、釋放及再捕

標記、釋放及再捕 (marking-release and recapture) 是研究多種動物及昆蟲活動能力，族群密度以及追蹤其遷移路徑的一種方法。對昆蟲而言，釋放前用於標記之材質及方法隨昆蟲種類、大小而異；標記質材需對標記昆蟲無毒害，不影響其趨向性與活動、便宜、不易褪色、脫落，易於辨識，且在標記時易於操作與省工者為佳。常被用於標記之材料有油性簽字筆、標籤、染料、繪畫油漆、螢光物質或放射性同位素等。標記時可按照昆蟲體型的大小及其棲息的集中性，使用各別標記或集體標記。在昆蟲體型較小且族群密度較高的情況下，通常於其起飛前使用噴霧器將標記物質直接噴射蟲體上，如褐飛蝨或白背飛蝨等可使用紅色染料或螢光劑，在害蟲發生密度較高之稻田，直接噴佈於蟲體上；但如蝴蝶之大型昆蟲，通常是一隻一隻的使用簽字筆或標籤標示於翅膀下面後釋放。標示蟲起飛遷出後，可根據當時的氣象條件，推估可能遷移飛行方向或降落範圍，請各地協助人員利用各種有效方法誘捕，並將有標記之昆蟲寄回研究單位確認。使用此一種方法不但可佐證一種標的昆蟲是否具長距離遷移之特性，並可查明其遷移飛行的途徑及距離 (李等 1964；張等 1980；耿 1982；陳等 1985；Showers et al. 1989)。

6. 雷達觀察

雷達 (radar) 是在第二次世界大戰期中發展出來一種監測敵機的儀器。其原理是利用儀器本身發射的微波射向目標，檢測反射回來之部分雷達波所需時間，來記算與目標之間的距離及方向，用於及時監測入侵之敵機。在戰後，除軍事用途外，雷達並廣泛地被民間用於航空、航海、氣象、探礦、天文及地理等方面的研究。利用雷達於生物研究，最早是從研究鳥類的遷徙開始，其後英國昆蟲學家 Rainey (1955) 應用航海掃描雷達在波斯灣成功地觀測到沙漠蝗蟲群的遷飛；Schaefer (1969) 在英國治蝗研究中心 (Anti-locust Research Centre) 建造了第一台專用於監測昆蟲的雷達，於撒哈拉沙漠南部進行蝗蟲之遷移飛行研究，顯示具有強大的潛力。Riley 等 (1979, 1980, 1983, 1990, 1991, 1993, 1995) 及 Brake (1981, 1984, 1993) 利用雷達觀察多種昆蟲之遷移飛行，並創造了數據手工分析方法，但頗費人力，直至 2001 年程等 (2002) 成功發展了掃描昆蟲雷達回波數據的自動化採集與分析系統，使掃描昆蟲雷達能夠直接應用於遷移飛行昆蟲的長期監測和及時預警。

根據工作方式，昆蟲雷達可分為掃描雷達、垂直監測雷達及跟蹤雷達等；依據裝載方式可分車載、飛機載、船載及

地面固定等雷達；根據波長可分厘米波與毫米波雷達；依調波方式可分脈衝波雷達和調頻連續波雷達等類型。各類型昆蟲雷達有其特定用途及優、缺點。研究人員可利用雷達回波信號及其定向和測距性質，計算出昆蟲遷移飛行的高度、密度、速度和飛行方向，以及藉振翅頻率辨別昆蟲種類和氣流的方向與速度。昆蟲雷達最早用於沙漠飛蝗的觀測，其後廣泛地用於昆蟲遷移飛行擴散行為的研究和監測 (陳等 1985；程等 2005；Chen et al. 1995; Riley et al. 1991; Wolf et al. 1986)。

7. 氣流的流軌圖分析

氣流的流軌圖 (trajectories of winds) 分析，原本係美國發展於長期監測空氣中微粒污染評估及個案污染情況的觀察，其後經英國的熱帶發展研究所 (UK Tropical Development and Research Institute) 利用高空風場圖，例如利用綜合考慮褐飛蝨遷移飛行之可能高度，約在高度 1.5 km 之風向及風速等，與有水稻成熟而可能導致褐飛蝨遷出之地區，褐飛蝨之飛行低溫臨界 (約 17℃)，以及最長飛行時間約 30 小時等限制因素，發展出模擬褐飛蝨遷移飛行模型 (model)，顯示可應用於模擬風載型遷移性褐飛蝨的降落區

域，及其媒介病毒之可能擴散區域 (Rosenberg & Mayer 1983)，此一模型顯示亦可能應用於模擬遷移昆蟲之遷徙路徑；由遷入地使用後（逆）向氣流的流軌線 (backward-trajectories of winds) (參閱圖二、三)，於追溯遷入蟲之可能遷出地區；相反地由遷出地探索可能被遷出蟲之遷入地區，則可利前（順）向氣流之流軌線 (forward-trajectories of winds) 分析。此種分析方法已被日本氣象協會 (Japan Meteorological Association) 建立電腦程式藉以推測遷入褐飛蝨之遷出地及其遷移飛行途徑 (Sogawa 1994, 1995, 1997; Takahashi 1997; Takeuchi 1987)。利用雷達觀測與地面上應用捕蟲器材的捕蟲數之數據結合，可提供該等遷移害蟲之發生預測及早期防範措施 (Cheng 1997; Johnson 1995; Mcdonald 1995; Otuka et al. 2005; Otuka et al. 2012; Walden 1995; Watanabe 1995; Watanabe & Seino 1991; Zhou et al. 1995)。然而由於最初所繪製之流軌線是利用特定氣壓線圖，一般使用 850 hPa (約相當於 1,500 公尺) 高度之風場及溫度繪製，這種假設稻飛蝨保持於該特定的氣壓高度遷移飛行並不合理，其後因三度空間分析方法之建立 (Otuka 2009; Otuka et al. 2005a, b; Turner et al. 1999; Zhu et al. 2000)，發現稻飛蝨可在不同氣壓之高度遷飛，因而可提高了

追溯其遷出地、遷飛過程及遷入時間之準確性。由於從不同地區遷入之遷飛性昆蟲的生理特性可能互有差異，如抗藥性、生物小種、以及其繁殖後代成蟲的長、短翅型之比例等，都可能影響該遷移性昆蟲在遷入地之防治策略的釐定，因此藉三度空間之模擬分析方法，可更精確地提供遷入害蟲之訊息，以供被遷入地提早作必要的應對措施。

8. 地理資訊系統及遙測資料之應用

地理資訊系統及遙測 (geographic information and remote sensing) 近年來亦被利用於昆蟲遷移飛行的研究。地理資訊系統 (簡稱 GIS) 是一種具有特殊用途的電腦裝置，能被利用於紀錄、儲存、處理及校訂所搜集之空間資料，因此經常被應用於各種不同形式之空間數據的整合。空間數據通常是以向量 (vector) 或網格 (raster) 方式保存於電腦。向量數據是當空間的圖像被數位化時用於表明相對的點、線及多種形狀，以及表明特定點的大小；而格網數據是由具有一定規格性的網格穴 (grid of cells) 組成，每格穴存有一個獨特的數值 (變數)，衛星所獲之數據就是利用這種方式紀錄保存。當遙感數據 (remotely sensed data) 可更大量的獲得，則方量和網格數據必須在同一系統內被處理。

遠距離感應 (簡稱遙感) (remote sensing) 包括所有能夠由標的物外一段距離用於觀察標的物的各種方法或裝置，廣義包括地面及空中照像，電視錄影製作 (videography)、衛星照像 (Satellite-borne photography)、多色光譜掃描 (multispectral scanning)、熱影像 (thermal imaging)、地面及空載微波感應 (ground-based and airborne microwave sensing)、聲波探測 (acoustic sounding) 及微光視覺 (low-light optical) 等方法 (Riley 1989; Robinson 1995)。此等技術已逐漸被廣泛地應用於昆蟲遷徙的研究。

遙感已被應用於偵察某種昆蟲的族群位置，昆蟲所造成的危害，可能被害的作物地點以及有利於該種害蟲族群增長之環境。事實上直接應用上述技術於探究昆蟲遷移飛行是有其困難，但如利用地理資訊系統、遙感或衛星空照等技術偵查適於遷移昆蟲大量繁殖環境之地點，有助於偵測遷飛性昆蟲可能遷出之地點 (從氣象變動，作物生長期或被害等變化之推測)。目前已應用於預測如沙漠飛蝗、澳洲飛蝗 (*Locust terminifera*) 以及非洲粟夜盜 (*Spodoptera exempta*) 等遷移昆蟲之遷移量、方向、範圍等之預測 (Robinson 1995)。對於其他遷移性昆蟲，如水稻褐飛蝨等害蟲在初期遷出地 (如紅河三角洲及華南) 之發生量以及被害程度，若能與上述同樣技

術早期偵測，則有助於其後遷入地區之早期預測工作。

第參章 東亞遷移性水稻害蟲之研究概況

在東亞地區已確認之主要水稻遷移性害蟲有褐飛蝨、白背飛蝨 (Kisimoto 1976)、斑飛蝨 (Otuka et al. 2010)、瘤野螟 (張等 1980；Wada & Kobayashi 1991)、粟夜盜 (李等 1964；Hirai 1984, 1995; Lee & Uhm 1995) 及直紋拼蝶 (*Parnara guttata*) (城所 1992) 等。此外例如東亞飛蝗、黑尾葉蟬類 (*Nephotettix* spp.) 及綠蝽象 (*Nezara viridula*) 等亦有遷移飛行的可能 (岸本 1975；朝比奈與鶴岡 1969)，但尚待深入研究證明。茲將已證明為遷移性的水稻重要害蟲，在臺灣之發生概況，及這些昆蟲在東亞地區之遷移研究沿革分別介紹如下：

第一節 研究沿革

1. 粟夜盜

粟夜盜 (*Mythimna separate* Walker) 是東亞地區最先被證實具有長距離遷移能力的害蟲 (李等 1964)。該種害蟲在中國大陸稱為粘蟲，是小麥、玉米、粟、稻以及其他禾本科牧草的偶發性重要害蟲。該蟲從 1950 年代後的 40 年間，在中國曾有 10 年大發生的紀錄，其中在 1970 年代就遭受 6 次嚴

重危害。經過廣大區域調查，發現該蟲只能在 32°N 以南地區的冬小麥上存活越冬，越冬成蟲於 3 月中、下旬至 4 月上旬出現後，即往黃淮平原及山東丘陵等該蟲不能越冬地區遷移，危害小麥、燕麥、玉米及粟等，5 月下旬至 6 月中旬再遷往 39°N 以北 (東北地區) 危害小麥、燕麥、粟、高粱、玉米、水稻及禾本科牧草等，然後於 7 月下旬南遷至 36~39°N 間 (山東丘陵北部及河北一帶)，危害粟、玉米、高粱及水稻，此區之成蟲又於 8 至 9 月再往南遷至 32°N 以南地區危害晚稻、小麥及玉米等 (李等 1964；Chen et al. 1995; Yan 1991)。依據 (1) 在第一階段遷移後，於遷入地，粟夜盜成蟲常呈連續性之小高峰出現，每一小高峰為期 1 至 3 天，且同時出現於廣大區域內溫度差異極大的 9 個偵測點；(2) 於第一階段遷移期中，在山東半島靠近文登縣海面及長山島附近的海面上發現許多粟夜盜蛾的屍體，而認為該蟲具有長距離遷移之特性 (Lin et al. 1963)。為證明該蟲的遷移行為，在 1961 至 1963 年春季，當中國華南之粟夜盜的越冬成蟲開始出現時，於田邊豎立稻藁束並於其上噴灑糖蜜誘引成蟲前往取食，然後噴佈染料標記蟲體；另一方面，在華中及華北地區亦設置經糖蜜處理之稻藁束，用以誘集被標記之成蟲，竟發現可在釋放點北方 600 至 1,000 公里處捕獲到被標記之成蟲。相反地於

秋季在華北以同樣方法標記成蟲，而於釋放點之南方 800 公里處捕獲被標記之蟲體 (李等 1964)，其後又經多次重複試驗亦獲得同樣的結果，而被證實該蟲在大陸之南北長距離遷移的現象 (Chen et al. 1995; Yan 1991)。粟夜盜在中國大陸之長距離遷移，後來被發現可波及韓國和日本靠日本海沿岸以及本州東北部和北海道等地區之粟夜盜的發生與危害程度 (Hirai 1995; Lee & Uhm 1995)。在臺灣，粟夜盜有否自海外遷入或遷出，尚無資料可查，有待探究。

2. 褐飛蝨與白背飛蝨

褐飛蝨 (*Nilaparvata lugens* (Stål)) 與白背飛蝨 (*Sogatella furcifera* (Horvath)) 以往為亞太地區水稻的偶發性重要害蟲，曾多次在不同地區造成嚴重災害 (Dyck & Thomas 1979)，尤其在 1732 年於日本曾因為稻飛蝨危害而導致大饑荒，有數百萬人為之死亡 (岸本 1975)。日本為探究該兩種稻飛蝨是從何處而來，曾有「內地越冬說」與「外地飛來說」兩派的爭論，直至 1967 年 7 月梅雨期中，鶴岡氏在日本氣象廳南方定點觀測站「Tango」(29°N, 135°E)，約在日本潮岬南方 500 公里，種子島東南方 450 公里的海洋上，發現數以萬計之褐飛蝨和白背飛蝨等昆蟲在夜間撲向觀測船上之燈光

(朝比奈與鶴岡 1968，1969)，其後經多次在日本與中國之間的東海上觀測，發現該兩種稻飛蝨常在同一時段，可以在東海的觀測船隻上，及在日本九州筑後市或奄美大島及沖繩等地架設之氣帶式捕蟲網或誘蟲燈捕獲，且捕獲時期常與滯留鋒面在日本上空徘徊有密切關係，終於相信該兩種稻飛蝨於梅雨季節可隨西南氣流自海外遷入日本，而終結了兩派的紛爭 (岸本 1975；岸本等 1982；Kisimoto 1971, 1976; Mochida 1974)。其後，經岸本氏與相關研究者等積極投入研究、分析，終於發現每年 6~7 月間出現於日本稻田之兩種稻飛蝨，係於梅雨季隨鋒面的西南氣流由華南或華中遷入日本 (Kisimoto 1971, 1976; Mochida 1974)。以此為基礎，日本農林水產省於 1983 年成立「長距離移動性害蟲之移動預測技術的開發計畫」，投入大量人力進行兩種稻飛蝨遷移有關的生理、生態、最初之遷出地、遷移路徑、氣象條件、預測技術及遷入後之族群動態與防治方法等一系列研究。Seino et al. (1982) 認為遷移性稻飛蝨係受鋒面前之西南向低層噴射氣流 (low-level jet stream) 之載運而遷入日本。依此假說，渡邊等 (1990) 利用東亞地區於 850 hPa 等壓線圖的風速、風向資料，建立等風速線圖及風向、風速圖，以便找出低層噴射氣流的位置，並開發電腦預測模式，作為兩種稻飛蝨遷入期之預測。至 1990

年代已累積了相當多的資料，並可於早期預測該兩種稻飛蝨之遷入 (鈴木 2002；Sogawa & Watanabe 1991; Watanabe 1995)。其後 Zhu et al. (2000) 與 Otuka et al. (2005) 等利用三度空間氣象資料取代已往利用二度空間之氣象數據，模擬褐飛蝨之遷移途徑，更能精準地追溯遷出地及掌握遷入的時間。

另一方面，中國大陸於 1970 年代起，先後對褐飛蝨、白背飛蝨及瘤野螟等害蟲從事全國性大規模調查，包括越冬地區、寄主植物、發生生態、遷移飛行生理及行為、遷移飛行之氣象條件、遷移飛行之高度、路徑、以及遷入後之族群增長與防治策略等的研究，也累積了相當豐富的資料 (全國白背飛蝨科研組 1981；全國褐飛蝨科研組 1981；全國縱捲葉螟科研組 1981；江等 1981, 1982；汪等 1982；巫與胡 1987；李等 1964；胡等 1988；張等 1980, 1981, 1983；陳 1983；陳等 1979, 1985；程等 1979, 2003；談 1984；鄧 1980, 1981)。大體上，在中國大陸的研究，主要是依據該等害蟲在各地區越冬調查所獲資料，將上述三種害蟲按其發生情況劃分為終年繁殖區、少量越冬區及不能越冬區。此外利用當地害蟲之發育蟲齡期及與越冬蟲數量，及下一年春季初期在田間及誘蟲燈之成蟲出現期與捕蟲數推算，認為在屬於少量越冬之華南地區的早稻 (第一期稻) 上出現之兩種稻飛蝨長翅

型成蟲和瘤野螟蛾，主要係由熱帶之終年繁殖區遷入者；另外，利用廣闊地區內不同偵測點之誘蟲燈，在同一遷入波之誘捕蟲數有「同期突增」現象的範圍，劃為同一遷入波的波及範圍，並按捕獲蟲數的多寡，區劃出主降區與波及區，如此連結每一遷入波之主要降落區作為分析其遷移途徑。為闡明在中國南部地區早稻上三種遷移性害蟲主要係來自中南半島，他們除解剖檢測遷入雌成蟲之卵巢外，並利用氣流之流軌分析、高山網捕、飛機網捕、海洋上船隻網捕、標記蟲之釋放與回收，以及雷達偵測等多項方法加以佐證。另一方面，他們根據兩種稻飛蝨和瘤野螟蟲遷入的天氣系統，探討導引該等害蟲長距離遷移的氣象條件；此外利用兩種稻飛蝨的若蟲在不同發育期水稻上飼育至成蟲與翅型分化的關係，藉以瞭解害蟲之遷出與遷入與大陸南北各地區水稻種植期是否相互配合；並以氣象條件與昆蟲遷入始見期，遷入蟲降落區之變化，作出了兩種稻飛蝨和瘤野螟在中國大陸水稻區的遷徙和發生區劃 (胡等 1988；程等 1979；Zhang 1991)。

程等 (1979) 將褐飛蝨在華東地區之發生情況區劃為：(1) 終年繁殖區：位於 19°N 以南，或 1 月 19℃等溫線以南，終年有水稻生長，大面積早稻在 4 至 5 月成熟。(2) 少量過冬區：位於 1 月 19℃等溫線以北到北回歸線附近，1 月平均溫度在

12℃以上的地區；本區又可區分為兩區，即元月平均溫度在14℃以上者為少量穩定越冬區，早稻於 5 月下旬至 6 月上旬成熟；元月平均溫度在 12 至 14℃ (北回歸線以南沿海地區)之間為間歇性少量越冬區，早稻在 6 月中、下旬至 7 月初成熟；此兩地區早稻上之褐飛蝨主要是由 3 至 5 月間從終年繁殖區遷入者。(3) 不能越冬區：北回歸線以北地區，早稻於 4 月中旬後移植，7 月上、中旬以後成熟，褐飛蝨於 4 月下旬始見，自終年繁殖區與少量穩定越冬區遷入。白背飛蝨之發生區劃大體與褐飛蝨相同，雖可少量在華南水稻區越冬，但是主要白背飛蝨的族群是由 3 月中、下旬開始從中南半島遷入者 (胡等 1988)。

為了進一步瞭解稻飛蝨的遷移實況，追蹤遷移蟲之可能遷出地以及遷移蟲之綜合管理技術等，中國與日本自 1983 年至 2004 年成立合作計劃，由日本派遣研究人員至中國水稻研究所共同研究，除推定在越南紅河三角洲之冬春作水稻 (winter-spring cropping rice) 上之越冬蟲所繁殖的後代，最有可能是往華南、華中等地北遷的主要遷出地 (Otuka et al. 2007, 2008; Sogawa 1995, 1997a, 1997b)。在水稻抵抗白背飛蝨的研究上，發現白背飛蝨特別喜好在秈稻與雜交稻上危害 (胡等 1992；唐等 1998；黃 1987；寒川 1991，2001；Cheng

2009)，但若干中國傳統粳稻對白背飛蝨具有不同程度的抗蟲性，抗蟲機制可能為吸汁阻害及殺卵作用。成蟲產卵在有過敏反應之粳稻品種，於產卵部位產生水浸狀褐斑，內含有苯甲酸苯甲酯 (benzyl benzoate) 具有殺卵作用，可有效地抑制白背飛蝨族群的增長 (寒川 2003；Seino et al. 1996; Suzuki et al. 1996)，此種機制可能為粳稻較秈稻不受白背飛蝨危害的主要原因。

上述五種遷移性害蟲，除粟夜盜在臺灣是屬於水稻之潛在性害蟲外，其他四種都是水稻的重要害蟲，對水稻有明顯的偏好性，喜好潮濕溫暖環境，抗寒能力弱、又沒有真正的休眠特性。其中褐飛蝨、白背飛蝨及斑飛蝨等的成蟲都具有長翅型及短翅兩種翅型，屬於翅多型性 (wing polymorphism) 昆蟲，每一世代成蟲都有不同比例的長翅型成蟲出現往外遷出，尤其在其棲息環境較差 (如太乾燥或族群密度太高) 或寄主營養條件不良 (如水稻成熟期) 時，即產生高比例的長翅型成蟲往外遷移。成蟲通常在羽化後 1~2 天，未交尾、卵巢發育處於 1 至 2 級之未成熟階段時遷出。起飛前，成蟲停止取食，由稻叢基部爬行到葉片尖端或稻穗上端準備起飛。起飛的臨界低溫約 17℃或日平均溫度在 25℃以上。起飛的高峰一般出現於晴朗無風或風力小於 2 級之微風天氣，於日落前或

日出前，光照在 14~100 勒克司 (lux) 時離開寄主植物，並迅速地飛向天空；起飛高峰呈黃昏與黎明的雙峰型，傍晚起飛者高於黎明起飛的數量。在秋末，日平均溫度在 19℃左右，而早晚氣溫介於 11~16℃時，則一般在暖和的午後起飛，呈日間起飛之單峰型。起飛後，部分學者認為是完全依靠稻飛蝨本身的動力，自動迅速地穿過飛行邊界層到達水平運轉氣流的軌道，隨高空氣流方向遷移；但亦有學者認為在起飛後除昆蟲本身的動力外，並利用上升氣流之助力而進入運載氣流層。

稻飛蝨在運載氣流層飛行的舒適溫度為 17~22℃，上、下限溫度分別為 30 及 12℃。在飛行邊界層上遷徙的稻飛蝨，因氣流的輻合作用，其密度會逐漸加大，而呈集團帶狀遷徙；遷移飛行高度一般都在舒適溫度與高濕區帶，在夏季一般在地面上 300 至 3,000 公尺的空中都有分布，而以 1,500 至 2,000 公尺範圍內的密度最大；在秋季則在地面上 300 至 1,000 公尺範圍內都有分布，但以 500 至 1,000 公尺範圍內密度最高 (鄧 1981)。當遷移飛行昆蟲在轉運氣流中，若遇到中尺度氣流擾動，如氣流的輻合而產生下沉氣流或下雨時，就會被迫降落地面。是故，遷徙的方向是隨氣流的走向而無法自主，遷飛速度及距離則是隨氣流的流速及遷移蟲個體的體能而

異，可由數百至千餘公里，降落蟲數隨遷出地之距離而遞減(李等 1996；程等 1979, 2003)。各地之降落蟲數可藉由各地誘蟲燈或田間調查偵測。在日本調查發現，在山丘的背風面稻田或迎風之山谷的盆地內之稻田的降蟲量特別大 (Noda & Kiritani 1989)。降落地面後，稻飛蝨可再行長距離或短距離飛行，尋得適當的棲地後，即行取食、交配及產卵。因此在遷入地被誘蟲燈捕獲的雌性成蟲，其卵巢發育以 2 級為主，但在田間捕獲的雌性成蟲，卵巢發育則各種級別都有，交尾率也明顯增高 (李等 1996)。

3. 斑飛蝨

斑飛蝨 (*Laudelphas striatella* Fallen) 是東亞地區危害水稻重要害蟲之一，除直接自水稻維管束之篩管吸取養液危害外，並可媒介傳播縞葉枯病 (rice stripe virus, RSV) 及黑條矮化病 (rice black streaked dwarf virus) 等病毒病害。由於斑飛蝨可在溫帶地區 (如中國華中、華北，韓國及日本)，以及亞熱帶 (如臺灣與華南等地區) 於水稻、小麥、大麥、燕麥、玉米、高粱、粟以及多種禾本科雜草上取食、存活及越冬，所以朝比奈與鶴岡 (1968, 1969) 雖然早在日本氣象廳南方定點 (29°N, 135°E) 的觀測站船上就採集到少數的斑飛蝨，以及岸

本 (1975) 利用水產資源調查船在中國東海採集稻飛蝨，藉以證明在日本危害水稻的褐飛蝨及白背飛蝨是由海外遷入者的同時，亦採集到少數的斑飛蝨，約為白背飛蝨的 1/21，或褐飛蝨的 1/7，但一般並不認為牠可能為遷移性昆蟲。直至 1984~1985 年因臺灣中部及南部水稻遭受縞葉枯病嚴重危害，同時日本九州西南部，沖繩縣八重山等地亦爆發水稻縞葉枯病的危害，懷疑是遭受臺灣在 6~7 月第一期稻收穫後遷出之成蟲媒介所致 (寒川 1992)。惜此項質疑並未受到重視，進行進一步的探究。

另一方面，在中國華中地區自 2000 年後水稻縞葉枯病發生逐年嚴重 (Zhu, 2012)，於 2008 年 6 月初，在一個吹著很強西南風的日子，於日本西部許多誘蟲燈同時捕獲大量的斑飛蝨，隨後爆發水稻縞葉枯病的危害。以氣流後 (逆) 向流跡圖分析，發現中國江蘇省最有可能是斑飛蝨的遷出地 (Otuka et al. 2008, 2010, 2012; Zhou & Cheng 2012)；種系發生分析 (phylogenetic analysis) 比對日本九州、關東地區與中國江蘇地區之水稻縞葉枯病毒的核苷酸及其演繹氨基酸序列 (nucleotide and deduced amino acid sequence) 資料，發現日本九州地區之病毒株與江蘇省者同屬於 subtype 1 RSVs，而關東地區之 RSVs 則與江蘇省所採集的不相符，顯示九州地區

發生之縞葉枯病極可能是受由中國江蘇省遷移侵入的斑飛蝨所傳播 (Onuki 2012)。同樣現象於 2009 年 6 月初亦發生於韓國西岸地區，有大量的斑飛蝨成蟲同時被設立在各地點之氣帶式捕蟲網 (aerial net traps) 所捕獲，隨後爆發水稻縞葉枯病的嚴重發生。由於這些成蟲的出現期遠較當地斑飛蝨的第一世代成蟲可能出現期為早，推測可能為由境外遷移侵入者傳播所致 (Lee 2012; Otuka 2009)。其後經以氣流流跡線圖分析，發現遷出地可能亦為中國江蘇地區 (Otuka 2009; Otuka et al. 2012)。

中國江蘇地區，因勵行稻、麥兩作的耕作制度，兩種作物皆為斑飛蝨及稻縞葉枯病的主要寄主，但皆缺乏抗蟲及抗病品種。水稻栽培品種結構表現秈、稉併存，以秈稻為主；早、中、晚稻混栽，以中稻為主；常規稻和雜交稻併立，以雜交稻為主的布局 (杜 1991；Cheng 2009)；近年來實施不整地直播稻、麥，在麥或稻收穫前就將稻或麥的種子撒播到田間，因此斑飛蝨及縞葉枯病可順利由小麥轉到水稻，或由水稻轉到小麥 (Cheng 2009)。此外，該地區一向實施重肥及著重以藥劑防治病蟲害，一旦害蟲對藥劑產生抗藥性，引起斑飛蝨大量增殖並往外遷徙，將其所媒介之縞葉枯病隨之擴散。也因如此，斑飛蝨之具有長距離遷移的能力才獲得究明。

在臺灣稻田斑飛蝨周年可見，無論在第一或第二期稻，其最高族群密度都出現在水稻抽穗後至糊熟期之間 (鄭 2003)。由於一般相信斑飛蝨是臺灣的地區性害蟲，當褐飛蝨及白背飛蝨有遷入波出現的日子，雖可見斑飛蝨在氣帶式捕蟲網及誘蟲燈的捕獲蟲數亦略有增加之現象，但是否隨氣流與褐飛蝨及白背飛蝨同時由境外遷入，而影響其族群密度以及其所媒介之縞葉枯病在臺灣之發生程度，尚待分析究明。

4. 瘤野螟

瘤野螟 (*Cnaphaocrocis medinalis* Guenée) 的終年繁殖區在 1 月平均溫 16℃ 等溫線以南，亦即在大陸南海岸線以南地區，包括海南島、雷州半島以及中南半島，此區之成蟲於 4 月上旬至 5 月中旬遷出；由南海岸線以北至 30°N 元月平均溫 4℃之間，為少量越冬區，本區之成蟲於 5 月下旬至 7 月中旬遷出。瘤野螟不能在 30°N 以北的地區越冬，該地區之瘤野螟大多是由華南稻區遷出入侵者 (張等 1980；Zhang 1991)。

瘤野螟蛾在形態上並無長、短翅型之分，但從不同季節、不同緯度捕獲之成蟲，其飛行能力卻有明顯差異，飛行能力差者，在吊飛磨盤 (flight-mill) 上一次飛行時間不到 1 分鐘，在 12 小時內累計飛行不足 5 分鐘；而飛行能力強者，一次飛

行可連續 10 多小時，甚或有長達 27 小時者。此種飛行能力之差異，顯示其族群之飛行能力的多型性 (flight behavior polymorphism)，是受遺傳基因所控制。飛行能力差者多屬於留居型，可持續飛行 2 小時以上者則屬於遷移型，而可持續飛行接近 2 小時者則屬於潛在遷飛型 (張等 1981)。

瘤野螟幼蟲取食於孕穗期後之水稻葉片者，其成蟲之交尾率極低，絕大部分遷出稻田或往外遷移 (鄭 1987；Wada & Kobayashi 1991)。成蟲多數在傍晚羽化，部分經 1~2 小時後於當晚即可起飛遷移，羽化較遲者則延至次日傍晚後起飛。遷出之成蟲都未交尾，雌蛾的卵巢發育通常處於 1 至 2 級的狀態，待發育達 3 級或含有成熟卵子待產時，便少有作長距離遷移飛行，顯示將遷出之瘤野螟成蟲之卵子發育有暫時停滯的徵狀，符合了 Johnson (1969) 指出「遷移飛行與卵子發育之共軛反應」(flight - oögenensis syndrom) 的概念 (Zhang 1991)。

在田間，成蟲大部分於傍晚光度小於 1,000 lux 微風下起飛。飛行的臨界低溫為 13℃左右。遷移飛行主要在夜間進行，於黎明前降落地面。遷徙飛行高度在春季以地面上 800 至 1,000 公尺居多，在秋季則多於 200 至 700 公尺間，遷飛距離由百餘公里至 1,000 餘公里，受運載氣流的流速及溫度

等因素影響 (張等 1981；Zhang 1991)

瘤野螟成蟲遷入的氣候條件雖與褐飛蝨相同，但其遷入蟲數遠不及褐飛蝨或白背飛蝨的數量，且於遷入後，在白天喜愛棲息於較茂密之雜草或作物間，於夜間始分散遷入未茂密之稻田產卵，因此其遷入期及遷入量之偵察較兩種稻飛蝨更為困難。為偵查瘤野螟蛾之遷入數量，在該蟲無法越冬的溫帶地區 (如日本)，一般於其遷入期之前約一個月左右種植水稻，以便引誘遷入之成蟲前往棲息，每日使用竹竿或繩索驚擾棲息於稻田內之成蟲，計數棲息於稻田內的成蟲數，便於研判其遷入時期與遷入波次 (waves) 以及每波次之遷入蟲數，相當費時費力 (Wada & Kobayashi 1991)。在中國大陸，採用大規模的越冬蟲調查方法，首先估算當地越冬蟲之數量及其成蟲可能出現期，然後於春季成蟲出現時，由當地越冬蟲之發育速率，捕獲成蟲數以及雌蛾之卵巢發育級數等，研判是否為本地越冬蟲或為外地遷入者；在屬於瘤野螟少量越冬區之華南水稻區，如初現成蟲基本上為遷入者，則成蟲之卵巢發育達 1 級者為 0 或在 10%以下，交尾率則在 70%以上，且大部分為老熟的成蟲，表示本地羽化成蟲極少；若成蟲大多為本地繁殖之越冬成蟲，其卵巢發育為 1 級者佔 11~34%，交尾率佔 30~69%，且新羽化者占多數；至於大部分為遷出型

成蟲，其卵巢發育為 1 級者比率很高，佔 60%以上，交尾率極低，常在 30%以下，且成蟲絕大部分為新羽化者。根據此一標準，可以釐清各地全年各世代的成蟲性質，並可在地面圖上，將成蟲在同一遷入波有表現「同期突增」之地點相連起來，稱為「蟲源同型區」，非但可以清楚地瞭解成蟲遷移情況，並可藉以分析其遷移的路徑 (張等 1981)。

第二節 東亞季風與遷移性昆蟲之遷徙

昆蟲之遷移分散，除與昆蟲本身之特性及有效寄主植物之取得有密切關係外，並受氣象因素所左右。換言之，氣象因素除可影響動、植物之分布、繁衍及活動行為外，對須依賴大氣環流之載運才能完成其遷移過程之遷移性害蟲的影響尤大。中國大陸處於歐亞大陸東南部，與廣闊的太平洋相接，因受海、陸間溫度之差異，及青康藏高原特殊地形的影響，季風現象特別明顯。在冬季 (10 至 3 月) 受西伯利亞高壓和海洋上的阿留申低壓系統的相互作用所產生的乾、冷東北季風所控制；在夏季 (4 至 9 月) 則受大陸熱低壓 (印度低壓) 和太平洋副熱高壓系統相互作用所產生的西南氣流所支配，溫暖而潮濕的熱帶海洋氣團由孟加拉灣吹向東亞地區，而帶來豐沛的雨量，有利於東亞地區的水稻的栽培與昆蟲的遷移

(Chang 1984)。

東亞的夏季季風是從 4 至 5 月間，因間熱帶輻合帶 (inter-tropical convergence zone) 由南半球逐漸轉向北半球，隨著冬季季風由南向北撤退，低緯度熱帶氣象系統開始活躍，季風由冬季型逐漸轉換成夏季型。在此期間由於喜馬拉雅山南支西風噴射氣流 (jet stream) 與北支之西風噴射氣流彼此對抗，由南往北或由北往南連續出現鋒面或氣旋，天氣極不穩定。東亞地區之夏季季風，一為來自太平洋高壓的熱帶海洋氣團，為東南季風，主要影響臺灣及華東地區；另一為來自大陸熱低壓帶來的印度洋的赤道潮濕氣團，為西南季風，主要影響大陸華南及西南地區。在 4 月，夏季季風 (西南季風) 開始在華南出現，於 5 月間盛行。另一方面，原位於喜馬拉雅山南麓上空之南支西風噴射氣流，在 5 月下旬至 6 月上旬，突然向北撤退至喜馬拉雅山北端上空併入北支噴射氣流，太平洋副熱帶高壓脊線向北移至 25°N 附近，印度低壓逐漸加強，高壓中心在西藏高原上空。此時夏季季風在華南達到極盛，在華中盛行，並開始影響華北；另一方面，印度西南季風同時爆發，間熱帶輻合帶亦北上至印度及南亞一帶，因此，在南海、東海及中國大陸沿海地區開始出現熱帶天氣系統 (如颱風、東風等) 的活動。由於南端上空西風噴流

的消失，使南亞極潮濕之熱帶海洋氣團 (西南季風) 得以匯集注入東亞，其尖端延伸至日本附近之東海，謂之溼舌 (moist tough)，在 5 月中、下旬至 6 月上旬，鋒面在華南至日本南方之太平洋海面徘徊，華南及臺灣地區降雨天數增高；6 月中旬前後鋒面急速北上，於 6 月中、下旬至 7 月中旬滯留於華中之長江流域至日本，而使華中及日本地區連續降下偏高的雨量，為俗稱之梅雨。其後隨鋒面之北上，於 7 月中旬至 8 月中旬造成華北 (黃河流域至大興安嶺) 進入雨季。此時華南高空為東風所控制，間熱帶輻合帶北上到華南地區，大陸南方及沿海廣大地區常受熱帶天氣系統的影響。8 月下旬以後冬季季風開始擴張，而夏季之西南季風開始撤退，天氣系統逐漸進入另一新的循環 (王與陳 1980；李等 1996；Murakami 1958)。

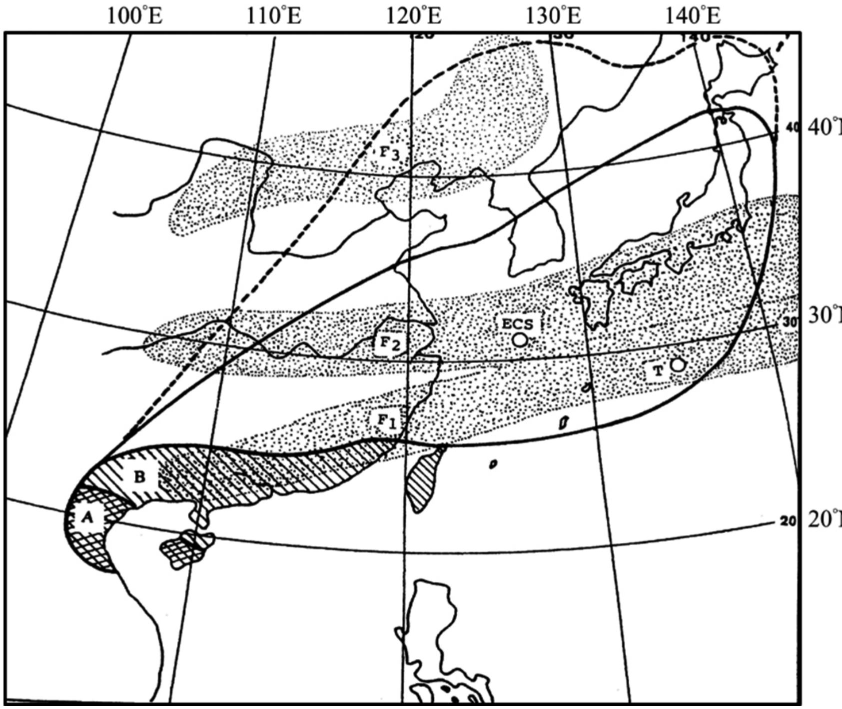
在 3 月間西伯利亞高壓的撤退使溫度上升，而潮濕的西南季風產生了豐沛的雨量，使水稻之栽培隨之由南向北遞進，同時稻飛蝨等遷移性昆蟲亦隨鋒面之北上，而往向北遷移擴散。其遷移過程大體上可分為兩個階段，首先由東南亞熱帶地區之褐飛蝨等遷移性害蟲的終年繁殖區，於 3 月中、下旬開始至 6 月上旬遷入亞熱帶之華南地區 (圖一)，於 6 至 7 月間出現之成蟲再向北遷移至溫帶的華中、華北及韓國與

日本等地區，於 9 月後該等害蟲又隨冬季之東北季風由華北稻區次地往南遷移 (江等 1981；胡等 1988；程等 1979；Kisimoto 1976; Sogawa 1991; Takahashi 1991)。

由過去多年的調查，已瞭解稻飛蝨於 3 月中、下旬至 4 月上旬開始由中南半島零星地遷入華南早稻 (3 月中下旬至 4 月上中旬移植)；在 5 月間，正值越南紅河三角洲水稻成熟期，稻飛蝨長翅型成蟲大量遷出 (Xuyen 1991)，因正逢鋒面滯留於華南，成為華南稻區稻飛蝨之遷入盛期。此次北遷主要擴散範圍在北緯 30°N 以南，東經 100~117°E 地區；但在大發生年，在 117°E 附近可達北緯 33°N 附近，但在 122°E 以東地區則只達到 30°N 左右，擴展方向自西南向東北呈扇形擴散。遷入華南地區之褐飛蝨等害蟲，經 1 至 2 二世代的增殖，待該地區水稻成熟期，遷出之成蟲，隨 6 月中、下旬鋒面北上至長江流域所形成的強盛西南氣流，擴散至華中 (30°N) 之晚稻及在 6 至 7 月移植之一季中稻區，一部分並可波及華北稻作區 (40°N 附近) 和韓國，以及 1,000 公里以外之日本九州及以北地區 (圖一)。此一階段的擴散方向亦呈現由南向北的扇形方位擴散，但因遷出時期的不同，遷出擴展方向受當時的氣流所左右，可呈現向北、西北或東北方向擴散，若遇東北氣流則呈現回遷 (南遷) 形勢 (李等 1996；胡等

1988；程等 1979；章等 1981；Kisimoto & Sogawa 1995; Sogawa 1991)。

瘤野螟成蟲於 3 月中旬開始至 5 月中旬由中南半島陸續遷入華南水稻區，由 5 月中旬至 7 月中旬由華南再往華中遷移，並波及華北及日本等地 (胡等 1981；張等 1981；程等 1979；Sogawa 1997; Wada & Kobayashi 1991; Zhang 1991)。由此觀之，遷移性昆蟲的遷移是與水稻栽植、成熟期及氣象條件相互緊密配合的結果。



圖一、東亞地區褐飛蝨與白背飛蝨最初遷出之蟲源地區與遷出蟲之波及地與梅雨滯留帶滯留地區之相關示意圖。

A：推測可能的遷出蟲源地區；

B：表示可能越冬地帶；實線：表示褐飛蝨與白背飛蝨通常可能遷入的界限(東亞水稻主要栽培區)；虛線：表示可能遭受以白背飛蝨為主，褐飛蝨局部危害的地區 (非水稻主要栽培區)；F1：5 月中旬至 6 月上旬梅雨鋒滯留地帶；F2：6 月中、下旬至 7 月上、中旬梅雨鋒滯留地帶；F3： 7 月中旬至 8 月中旬梅雨鋒滯留地帶。(Kisimoto & Sogawa 1997)

第三節 遷移性水稻害蟲北遷南移的氣象條件

風載型遷移性昆蟲的遷移過程，包括起飛遷出、空中運行及迫降著陸等三個步驟。如同前述，四種水稻遷移性害蟲之遷出主要出現在水稻抽穗後之成熟期。在大陸，於春、夏季向北遷移，遷出地帶一般位於地面圖熱低壓系統的暖區，在 850 hPa 等壓面圖上則位於偏西南或偏南氣流中；而遷入地帶則大多位於副熱帶高壓或鋒面所控制之下沉氣流區或降雨區中。夏末初秋南遷時，遷入地是在鋒面和大陸高壓的控制下，地面常位於地面冷鋒的冷區和大陸高壓的東部或東南部；在 850 hPa 等壓面圖上則在偏北或偏東北氣流的控制中。在遷出地，上下層氣溫一致上升，有利於飛蝨的升空遷出；在遷入地，空氣下層升溫而上層降溫，有利於飛蝨的下沉降著陸。在空中運轉時，則須靠大範圍的水平氣流輸送，如在高壓系統的西部或低壓系統的東部出現向北氣流，是向北遷移的運行動力；在高壓系統的東部邊緣，或低壓系統的西部邊緣，出現向南的氣流，則是稻飛蝨向南遷移的動力。同樣，在槽線、切變線南側出現向北氣流，或在其北側出現向南氣流，也是稻飛蝨南、北往返的動力。在高壓系統中，如副熱高壓中心、副高壓脊區，及在鋒面天氣中，如鋒後槽線 (或切變線) 的前方都有明顯的下沉氣流，是迫使稻飛蝨降落的

氣象條件 (江 1981, 1982；程等 2003)。

在大陸沿海地區，稻飛蝨在空中的轉運和降落亦常受到颱風環流的影響，當利用西南氣流轉運的遷移蟲遭遇到颱風帶來的東北風時，因產生氣流輻合而被迫下降 (朱等 1984)。同樣現象亦發現在臺灣與日本的石垣島地區 (鄭與盧 1990；Cheng 1997; Yasuda 1997)。

在日本九州筑後市，褐飛蝨及白背飛蝨之遷入大多出現在梅雨季節，凡滯留鋒面位於 25~35°N 之華中地區向東伸展，經九州筑後市至其北方 600 公里，西南風連續吹 20 小時左右，平均風速達 32.9 km/hr 時，即可導致兩種稻飛蝨的大量遷入；若鋒面位置稍微偏南或偏北，則只有少量的遷入；而在梅雨季後，若有強盛的西南氣流 (23 km/hr) 連續吹 3 至 4 天，亦可偵測到少量的遷入 (Kisimoto 1976)。其後進一步研究，發現稻飛蝨遷入九州之氣象條件與梅雨期產生豪雨之氣象條件有許多類似之處，即在 6 月下旬至 7 月上旬為兩種稻飛蝨主要遷入期，在梅雨鋒面之南側 200 至 300 公里的暖區，於低對流層 (地面上 1,000 至 2,000 公尺) 之輻合區有一強風帶 (風速在 10 m/s 以上)，一般稱為「低層噴射氣流」(low level jet stream)。在 850 hPa 圖上當低層噴流由華南經長江三角洲，跨越東海延伸至日本九州時，除可為九州地區帶來豪

雨，並可導入褐飛蝨及白背飛蝨及瘤野螟等害蟲之大量遷入。若低層噴射氣流從華南沿海地區經東海西南方到西日本沿岸地區，則兩種稻飛蝨之遷入僅限於日本西南海岸地區。經數年之探測，認為鋒面及低空噴射氣流之位置與稻飛蝨之遷入具密切關係，並已成為日本各地區預測該等長距離遷移性害蟲遷入之指標 (清野與大矢 1978；渡邊等 1990；Seino et al. 1987; Sogawa & Watanabe 1991, 1995; Watanabe et al. 1991)。

第四節 東亞遷移性水稻害蟲最初遷出地區之探究

1. 最初遷出地區的研討

由於西南季風係源自孟加拉灣，因此在水稻及稻飛蝨可終年繁殖，且水稻種植面積達 2,300 萬公頃的中南半島，首先就被推測為遷移性水稻害蟲遷入東亞地區最有可能之最初遷出地。惟在 2000 年以前，分布於中南半島南部，如湄公河三角洲及其鄰近地區的褐飛蝨是屬於第三型的生物小種 (biotype 3)，與分布在中國大陸及日本地區的第二型生物小種 (biotype 2) 不同而被排除；但在臨近華南之中南半島的北部地區，除越南的紅河三角洲及其鄰近地區外，其他地區多為看天田，通常在 5 至 7 月間降雨時才可能種稻，在 3 至 5 月

之間是沒有條件可產生大量的長翅型褐飛蝨或白背飛蝨遷出，因此位於越南紅河三角洲及沿海岸種植水稻 108 萬公頃的地區 (冬春稻 52 萬，夏稻 56 萬公頃)，就被認為最有可能為東亞地區長距離遷移性害蟲的最初遷出地 (Sogawa 1997)。此一推論之理由有下列三點：

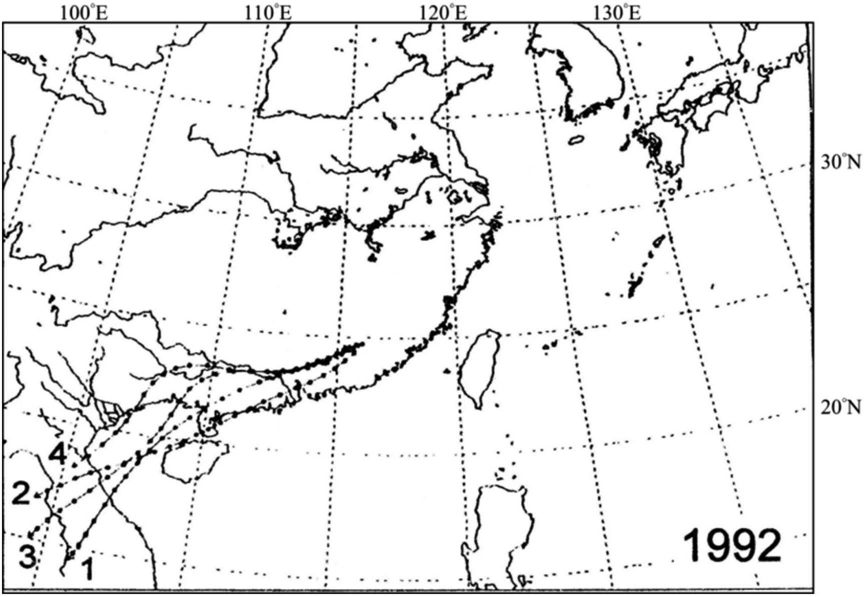
(1) 該地區之冬春稻 (winter-spring rice) 中約有 10%為冬稻 (winter rice)，及約 25%的早冬春稻 (early winter-spring rice)；在冬稻及早冬春稻上繁殖之褐飛蝨的第一代成蟲出現於 3 月中、下旬至 4 月上旬，族群密度尚低，遷出量極有限；褐飛蝨及白背飛蝨在誘蟲燈之高峰出現於 4 月末至 5 月中旬，而華南地區稻飛蝨之遷入高峰期也出現於 5 月上、中旬，與紅河三角洲水稻成熟期時褐飛蝨長翅型成蟲大量遷出的時間相當一致 (寒川 1993；Otuka et al. 2008)。

(2) 紅河三角洲稻區，褐飛蝨生物小種的發生變化 (由 biotype 1 變為 biotype 2 再變為 biotype 3)，與在中國大陸及日本偵測到的褐飛蝨生物小種的變化極為相似 (寒川 1993)。

(3) 在 1991 至 1992 年 4~5 月間，於紅河三角洲的稻飛蝨遷出時，由華南地區 (24°N, 116°E) 利用 850 hPa 之後 (逆)

向氣流的流軌線圖分析 (backward trajectory analysis)，經 48 小時可達越南紅河三角洲及其臨近地區 (圖二)；相反地，無論自河內 (20.5°N, 106°E)、Vinh (18°N, 106°E) 或 Donghoi (16°N, 107°E) 之前向氣流的流軌線圖分析 (forward trajectory analysis) 追蹤，於 48 小時內亦都可到達位於華南，甚或華中之鋒面位置，即於浙江、杭州至長江中游以南 (30°N 以南，122°E 以西) 地區；若氣流偏西，則流軌線亦可到達琉球及臺灣西部海岸地區 (Sogawa 1997)。其後 Otuka et al. (2005, 2007) 利用東亞地區三度空間之氣象資料、紅河三角洲及華南地區之誘蟲燈的捕蟲資料，及不同高度空間氣流之前向與逆向的氣流流軌線圖分析，亦同樣顯示在 4 月下旬至 5 月上旬，當越南紅河三角洲的長翅型褐飛蝨成蟲出現高峰期時，遷出之褐飛蝨順著氣流於 12 至 24 小時就可到達華南，涵蓋廣西、廣東北部、湖南南部、江西及福建等地區，隨風向而定。同樣情形，當華南地區偵測到褐飛蝨之遷入波時，以氣流之後向流軌線追溯其遷出地，絕大部分指向越南的紅河三角洲地區，並有少數指向越南中部地區 (20°N 以南) 或呂宋島中、北部 (Sogawa 1997)。由上述證據顯示，由越南

紅河三角洲之水稻栽植區遷出之稻飛蝨或瘤野螟蟲最有可能是為遷入華南稻區之主要蟲源。



圖二、1992 年 4～5 月間在華南地區 (24°N, 116°E) 於有明顯遷入波時，以 850 hPa 氣流逆向之流軌線圖追溯，顯示由越南紅河三角州與其附近地區遷出之褐飛蝨與白背飛蝨於 48 小時內就可隨氣流遷徙到達華南地區。(Sogawa 1997)

2. 最初遷出地區水稻栽培及遷移性害蟲之發生概況

越南紅河三角洲之年平均溫度約為 23.3℃，1、2 月平均溫度分別為 16.0 及 16.9℃，與嘉義地區之溫度類似。水稻栽培區分為冬春作 (12 至 6 月) 與夏作 (7 至 11 月) 兩期。冬

春作又因播種與移植日期可細分為冬作 (10 月中、下旬播種，12 月移植，5 月中旬收穫，栽培面積約佔冬春作之 10%)；早春作 (11 月中、下旬播種，5 月下旬至 6 月上旬收穫，約佔 25%)；春作 (12 月中旬至 1 月中旬播種，5 月下旬至 6 月上旬收穫，約佔 50%) 及晚春作 (1 月下旬至 2 月上旬播種，6 月中旬收穫，約佔 15%)。冬作及早春作水稻種植於土壤略呈酸性之深水田 (沼澤地)，以栽植耐酸性、抗寒、抗稻熱病，但對褐飛蝨不具抗性之長桿而生育期長的地區性品種為主，秧苗需達 7 葉以上始可移植；晚春稻則主要栽植於全灌溉地區，以種植改良及引入的水稻品種為主 (鈴木與和田 1994)。夏作又分為早夏作、夏作及晚夏作等；早夏作與夏作 (佔 60~80%) 主要栽種改良與引入水稻品種，而晚夏作 (佔 20~30%) 則以栽植糯稻與地區性品種為主。

冬作及早春作與東亞地區稻飛蝨遷移較具密切關係，前者於 10 月中、下旬播種，12 月上、中旬移植；而後者於 11 月中、下旬播種，1 月下旬至 2 月上旬移植。無論是冬作或早春作都在 11 月底，晚夏作收穫前播種，苗床上之秧苗，極易成為夏作水稻生育後期稻飛蝨遷往越冬的場所。越冬世代成蟲通常在 2 月中產卵，第一世代成蟲出現於 3 月中、下旬至 4 月上旬間，少數成蟲開始往外遷移；次一世代成蟲在 30

至 35 天後出現，因水稻已屆成熟期，絕大部份成蟲為長翅型，大量往外遷移。冬作需於 5 月中旬，雨季洪水出現前收穫，收穫時間較春作早 2 至 5 週。假定由紅河三角洲遷出之褐飛蝨，在華南增殖 1 至 2 世代後 (每世代約需歷時 30 天左右)，再於 6~7 月梅雨季往華中、華北及日本等地遷移，則在紅河三角洲之褐飛蝨最遲亦應於 5 月上旬遷出，此時只有在冬作與部分早春作的水稻上才可能有高密度長翅型成蟲出現、遷出。冬春作上之褐飛蝨發生密度與危害面積與 1 月平均氣溫具密切相關，暖冬有利於該地褐飛蝨的發生 (鈴木與和田 1994；Sogawa & Nhat 1997; Thanh et al. 2007)。

紅河三角洲地區，在以往是種植傳統秈稻，水稻遭受褐飛蝨的危害並不嚴重，但自 1976 年該地由國際稻米研究所引入半矮性、對氮肥反應性頗高之豐產稻種，如 IR 5、IR 8 及 IR 22 等栽植之後，才開始大發生。由於該等水稻品種對褐飛蝨的危害都呈極感性，且使用 BHC、甲基巴拉松 (methyl parathion) 及大利松 (diazinon) 等廣效性殺蟲劑防治水稻害蟲後，褐飛蝨發生危害逐年嚴重，於 1978 年在種植 IR 22 等水稻品種地區開始發生「蝨燒」，在 1980 至 1981 年栽植 IR 5 及 IR 8 等品種被蝨燒面積高達 26,000 公頃。農民為對抗褐飛蝨的嚴重危害，逐漸改植於 1975 年即引入北越，含有 *Bph1*

基因之抗褐飛蝨稻種，如 IR 1561、IR 2151 及 IR 2153 等。然而，由於在大面積連續栽植含有同一基因型之抗蟲品種後，褐飛蝨族群經由抗蟲稻品種的汰選，於 1983 至 1984，逐漸由不能危害含有抗蟲基因 *Bph1* 之稻種的第一型生物小種 (biotype 1) 褐飛蝨，轉變為能危害含有該抗蟲基因之稻種的第二型生物小種 (biotype 2) 褐飛蝨，而終於在 1987 至 1988 年，使含有 *Bph1* 基因之抗蟲型稻種的抗蟲性完全崩潰，水稻受害極為嚴重。農民為對抗褐飛蝨的嚴重危害，隨即改栽植含有 *bph2* 抗蟲基因型的稻種 CR 203，至 1992 年，該品種之栽培面積已分別佔冬春稻與夏稻栽培面積之 45~49 及 61~67%；但在某些地區，種植感蟲性優質的傳統稻種的面積仍高達 70~80%。褐飛蝨的危害面積在 1985 年以前在冬春作低於夏作，其後因夏作栽植抗蟲品種的面積大幅增加，冬春作被害面積反而較夏作高出 4 倍左右。但因在冬春作及夏作尚有 40~50%的耕地栽植感蟲性、但米質優良的傳統稻種，致使褐飛蝨於 1986 至 1991 年間每年在冬春作水稻遭受嚴重危害面積仍高達 3.9~7.6 萬公頃，輕度被害面積則高達 7.9~13.2 萬公頃 (Xuyen 1997)。

自 1980 年代後期在越南紅河三角洲大面積種植 CR 203 後，在 1997 年在局部栽植 CR84-1 (同樣含有 *bph2* 抗蟲基因)

地區開始產生蝨燒，而於 2006 年含有 *bph2* 抗蟲基因的稻種已完全崩潰，顯示該地區的褐飛蝨第三型生物小種 (biotype 3) 已占優勢 (鈴木與和田 1994；Sogawa 1997; Thanh et al. 2007)。

日本利用判別水稻品種偵察遷入九州之褐飛蝨的危害反應，發現有 49~98%的雌成蟲可危害含有抗蟲基因 *Bph1* 之稻種，另有 45~87%之個體可危害含有抗蟲基因 *bph2* 之稻種，顯示含有抗蟲基因 *Bph1* 及 *bph2* 稻種之抗性顯然已經崩潰 (Tanaka & Matsumura 2000)。同樣現象亦在韓國 (Seo et al. 2007) 及臺灣 (鄭 2003) 發現。在臺灣稻田栽植含有 *Bph1* 抗蟲基因之台稉 16 號，及栽植含有 *bph2* 抗蟲基因之台中秈 10 號，分別於 1990 年代初期及末期就有被蝨燒之情況發生，顯示遷入地的褐飛蝨，業已隨遷出地之生物小種的變化而生變化 (鄭 2003)。

為降低褐飛蝨的危害，越南於 1992 年在 FAO 的協助下，開始推行水稻病蟲害綜合管理計劃，獎勵種植健康水稻措施，包括栽植抗蟲性水稻品種，實施合理的行株距、施肥及灌排水管理，保護天敵，田間害蟲監視以及合理施用農藥等。越南政府並於 1996 年起陸續禁用如甲基巴拉松、加保扶 (carbofuran)、亞素靈 (monocrotophos) 及達馬松 (methamidophos) 等對害蟲的天敵具有劇毒之廣效性殺蟲藥

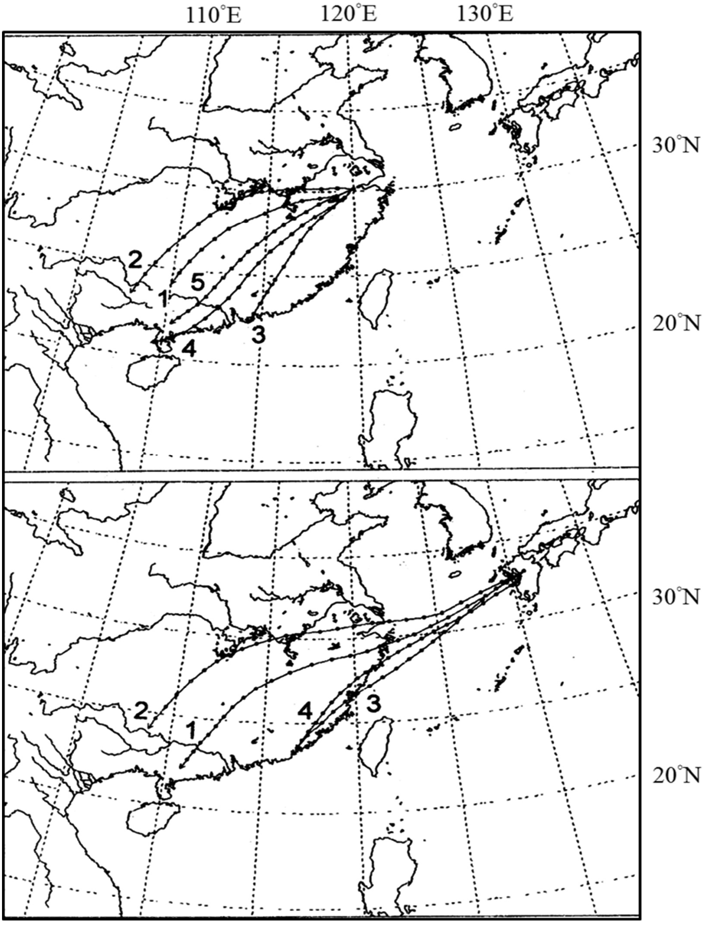
劑，而使褐飛蝨危害之嚴重性逐漸獲得控制 (Sogawa & Nhat 1997; Xuyen 1997)。然而越南政府在稻米增產的考量下，自 1990 年代後半，陸續自中國大規模引入抗褐飛蝨但對白背飛蝨不具抗性的雜交稻 (hybrid rice)，至 2000 年在紅河三角洲之栽培面積已佔該地總栽培面積之 70~80%，很快地導致原本在該地為偶發性害蟲之白背飛蝨在田間之族群密度於 1996 年即超過褐飛蝨 [56：44 (%)]，至 2007 年兩者之比例更提高至 73：27 (%)，顯示白背飛蝨已成為該地區水稻之主要害蟲，在 2000 年就有 26 萬公頃水稻遭受該蟲之嚴重危害，其中有 8 萬公頃水稻被害呈現完全不稔 (Sogawa 2003; Thanh et al. 2007)。更值得留意的是，在 2008 年在華南地區新發現證實由白背飛蝨所媒介之病毒病害–南方水稻黑條萎縮病 (southern rice black streaked dwarf virus, SRBSDV) (Zhou et al. 2008)，於雜交稻栽培地區蔓延 (Sogawa 2014; Wei et al 2012)，於 2009 年亦在越南紅河三角洲開始流行，並於 2010 年向越南中部廣大地區蔓延，以雜交稻被害較為嚴重，並可危害玉米 (Thanh et al. 2012)；在 2010 於日本九州與本州西部地區亦發現此一病害 (Sakai 2012)。這一種新病毒病害是否業已侵入臺灣，有待密切留意。

3. 遷移性害蟲由蟲源區遷出後之擴散

褐飛蝨及白背飛蝨等在 3 月下旬開始就有極少數的成蟲由紅河三角洲水稻區遷出，隨著西南季風入侵於 3 月中、下旬至 4 月上旬華南地區移植之水稻，惟遷出入蟲量相當有限；於 4 月下旬至 5 月上旬，紅河三角洲的水稻已屆成熟階段，褐飛蝨等遷移性害蟲大量遷出，廣西、廣東北部、湖南、江西及福建西北部為遷出害蟲之主要降落區，少數亦可遠達浙江中南部與湖北東南部地區降落。緊鄰越南北部地區之廣西的降蟲量最多，害蟲在遷出後 12 小時內就可到達。在此一遷徙期間，若運載褐飛蝨等害蟲的西南氣流偏西，成為西南西氣流，則褐飛蝨等遷移性害蟲亦可能遷入臺灣。遷入華南地區之褐飛蝨等害蟲，在當地經 1 至 2 世代的繁衍，於 6 至 7 月再隨鋒面系統北上，由華南向華中、華北、韓國、日本等稻區行第二階段遷移，此期間若有適當的鋒面系統或颱風路經臺灣近海，則亦可將由華南或呂宋島遷出的稻飛蝨導入臺灣 (鄭與盧 1990)。由浙江杭州或日本九州利用氣流逆向流軌線圖追溯，發現於華南遷出之褐飛蝨經 24 至 48 小時就可到達華中或九州 (圖三) (李等 1996；程等 1979, 2003；Huang et al. 2010; Otuka 2007, 2008, 2012; Sogawa 1979a, 1979b)。

華南地區水稻栽培面積約佔中國水稻總栽培面積 3,300

萬公頃的 17%，該地區自 1980 年以來逐漸推廣雜交稻及抗病、蟲的常規稻，雜交稻的栽培面積約佔 60~70%。推廣中的雜交稻以汕優 63、博優 64 (兩品種都含有 *Bph1* 抗蟲基因) 及



圖三、1996 年 6 月中旬梅雨季在華中 (上圖) 與日本九州 (下圖) 有明顯遷入波時，以 850 hPa 氣流之逆向流軌線圖追溯，顯示由華南遷出之褐飛蝨與白背飛蝨經 24 至 48 小時內就可遷徙到達華中或九州地區。(Sogawa 1997)

粳優 89 (含 *bph2* 抗蟲基因) 等抗褐飛蝨的水稻品種的栽培面積為最多。早稻 (第一期稻) 於 2 月下旬至 3 月中旬播種，3 月下旬至 4 月下旬移植，6 月中旬至 7 月中旬收穫。此地區所繁殖之兩種稻飛蝨是第二階段向北遷出的主要蟲源區 (胡等 1988；程等 1979；寒川 1993；Otuka et al. 2008; Sogawa 1997)。

在中國大陸，褐飛蝨的嚴重發生始於 1960 年代末期，但大面積水稻被害則在 1976 年推廣雜交稻之後。在 1970 年代末至 1980 年初所育成之雜交稻，如南優 2 號及 3 號是以 IR 24 及 IR 661 號為恢復系，對褐飛蝨呈感蟲性，在大面積種植後，導致褐飛蝨及白背飛蝨的大發生。為防治褐飛蝨所帶來的巨大損失，於 1980 年代中、後期改以含有 *Bph1* 抗褐飛蝨基因之 IR 26 及 IR 30 為恢復系，育成南優 6 號、威優 6 號、汕優 6 號以及汕優 63 號等抗蟲品種，其中以 1987 年推廣之汕優 63 號栽培面積為最廣，在 1990 年種植面積超過 687 萬公頃，約佔全國水稻栽培面積的 27%，或全中國雜交稻總栽培面積的 43%，致使褐飛蝨族群在 1980 年代後期明顯下降。但由於抗褐飛蝨的品種對白背飛蝨並不具抵抗性，因此在華南地區褐飛蝨族群下降的同時，白背飛蝨的族群發生密度卻反而逐漸嚴重 (Tang & Wang 1997)，尤其在華中之一季中稻及晚

稻，在分蘗期或孕穗期常被害產生蝨燒，遭受嚴重危害。白背飛蝨在雜交稻之增殖率較在常規稻增加達 1.8~30%以上，因此在華南增殖後之高密度的白背飛蝨再往北方遷移，除影響華中與華北地區白背飛蝨之發生量外，亦波及日本與臺灣的發生情況 (那波 1991；胡等 1992；寒川 1992；寒川等 2003；鄭與黃 2004；Huang et al. 2007; Sogawa et al. 2009)。

在大陸華南地區因大面積、連年栽培含有抗蟲基因 *Bph1* 的水稻品種，終於在 1987 年引起第二型生物小種 (biotype 2) 褐飛蝨的產生，使含有 *Bph1* 基因水稻品種的抗性完全崩潰 (巫 1990；Tan et al. 1997)。其後於 1992 至 1993 年廣東佛山農科院育成含有 *bph2* 抗蟲基因 (來自 IR 36) 之粳優 89 號，在廣東及其他省分之栽植面積達 100 萬公頃以上，有效地抑制 biotype 2 褐飛蝨的危害 (Huang et al. 1997)。但按 Yu et al. (2001) 報告，含有 *bph2* 抗蟲基因之水稻品種已於 1998 年開始被害產生蝨燒，顯然在褐飛蝨族群中已含有高比率之第三型生物小種 (biotype 3) 褐飛蝨的個體。除稻飛蝨外，因雜交稻對氮肥的反應性頗高，分蘗數多，莖葉生長茂盛等之特性，其所營造隱密而潮濕之環境也極適於其他水稻害蟲的繁衍。二化螟及三化螟等螟蟲類在雜交稻的危害亦較常規稻嚴重，發生與危害面積較雜交稻推廣前增加 1 至 2 倍以上。目前中國大陸對雜交稻害蟲的防治仍以化學防治為主，並積極強化

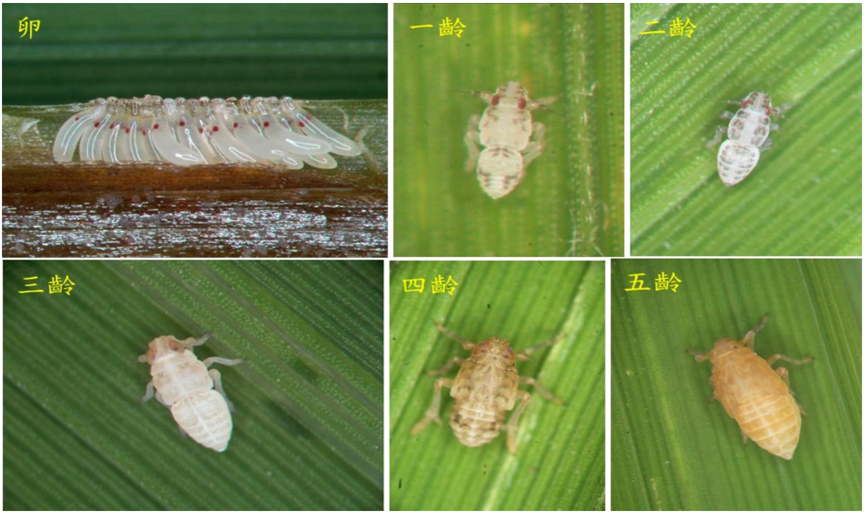
雜交稻的抗病蟲害特性，期利用以抗病、蟲稻種為基礎的綜合管理方法來解決雜交稻的病蟲害問題 (松村與渡邊 2002；胡等 1992；寒川 1992, 2003；鈴木與和田 1994；劉等 2003)。

瘤野螟在越南紅河三角洲及華南與其他亞太地區國家，同時於 1960 年中期後，因水稻綠色革命 (rice green revolution)，推廣栽植半矮性、豐產的水稻品種，並採用密植、施用高氮肥之後，始成為水稻重要害蟲 (Upadhyay et al. 1981; Zhang 1991)。瘤野螟偏好高溫高濕環境，施用高氮肥非但可建構瘤野螟偏好的棲息環境，並可提供柔嫩與營養的葉片促進其族群繁衍；而不當的田間操作，如在水稻生育早期施用殺蟲藥劑，大量降低捕食性與寄生性天敵，可能為導致瘤野螟嚴重發生的另一重要因素 (梁及龐 1991)。由此觀之，導致東亞地區瘤野螟嚴重發生，和紅河三角洲與華南地區栽植半矮性水稻與雜交稻有密切關係。按華南地區之偵察，瘤野螟於由 3 月中旬至 5 月中旬由中南半島之終年繁殖區遷入，而於 5 月下旬至 7 月中旬由華南遷出至華中並波及華北 (Zhang 1991)。

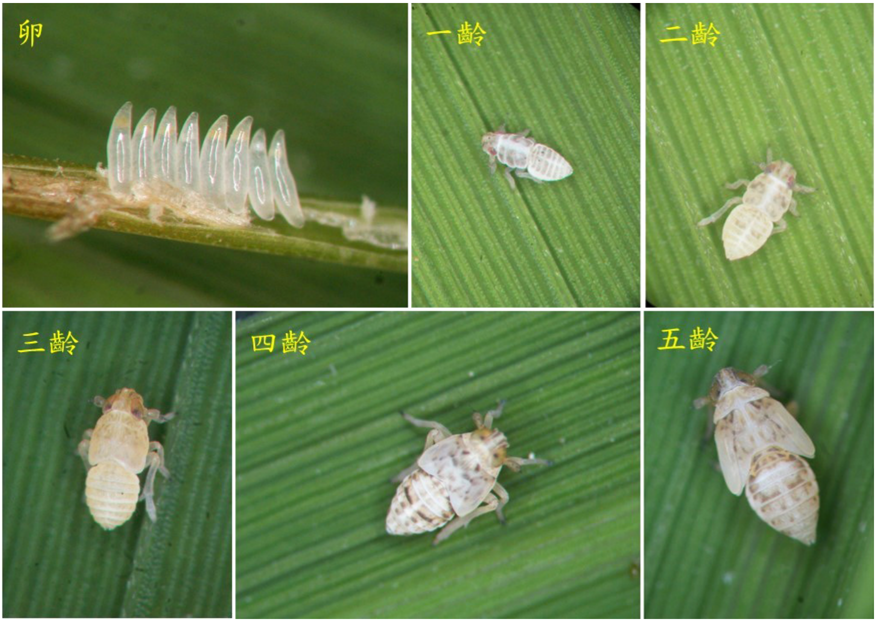
在日本，瘤野螟主要在梅雨季與褐飛蝨等同時由華南雙季稻區遷入，但遷入蟲數只有褐飛蝨的 1/10 至 1/1,000 (山口等 1994；Wada & Kobayashi 1991)。自從 2000 年以來，瘤野

螟在華中、日本及臺灣之危害程度都呈現顯著增加 (王與張 2006；寒川 2005；Cheng 1997; Huang et al. 2009; Watanabe et al. 2006, 2007)，推測可能與紅河三角洲於 2000 年後大面積 (佔栽培面積之 75%以上) 種植不具抗蟲性之雜交稻有關 (翟與程 2006；Thanh et al. 2006)。

由上面所述，顯示無論是在遷移性害蟲的最初遷出地紅河三角洲，或第二次遷出地華南地區的水稻栽培品種，或栽培管理情況的改變，都將影響東亞其他地區遷移性害蟲種類的消長，以及遷移蟲的性質 (如生物小種、抗藥性及媒介病毒等) 的改變。因此地區性國家的合作，例如蟲情與防治策略的資訊交換，相互觀摩切磋，將可能是為減緩遷移性害蟲不可或缺的一環。



圖示、褐飛蝨卵塊與第一至第五齡若蟲的形態。(黃守宏　提供)



圖示、白背飛蝨卵塊與第一至第五齡若蟲的形態。(黃守宏 提供)

第肆章 東亞遷移性水稻害蟲對臺灣稻蟲管理之衝擊

第一節 水稻遷移性害蟲遷入臺灣之偵察

臺灣位於中國大陸的東南隅 (120~122°E, 22~25°N)，元月平均氣溫由北部之 14 至 15℃至南部之 20℃左右。按中國大陸對該等遷移性害蟲的發生區分法，臺灣南部地區的溫度應可讓褐飛蝨、白背飛蝨、斑飛蝨及瘤野螟等遷移性害蟲終年繁殖，而中、北部地區則應歸類為少量穩定越冬區 (胡等 1988；張等 1981；程等 1979)。惟在臺灣因第二期水稻自 10 月上旬 (南部) 至 12 月上、中旬 (北部) 收穫，其後至翌年第一期稻移植 (由南部 12 月中、下旬至北部之 3 月上、中旬) 之休耕期間長達 2 至 3 個月，此期間又適逢乾燥低溫，大部分稻田於水稻收穫後即翻土曝曬，田間可提供越冬蟲取食的再生稻、自生秧苗或其他可供該等害蟲維生之其他禾本科植物甚少，且發育極差，加之天敵的捕食或寄生，以及第一期稻種植前之翻土、整地等的摧殘，能夠順利越冬者極為稀少 (朱等 1982, 1984；鄭 1990；鄭與吳 1999；鄭與黃 2004)。因此在臺灣地區的第一期稻，上述四種遷移性害蟲，除在高屏地區及中南部若干晚植稻 (於3月下旬至4月間移植者) 於生育後期偶有遭受危害的紀錄外，其他地區則發生危害甚是

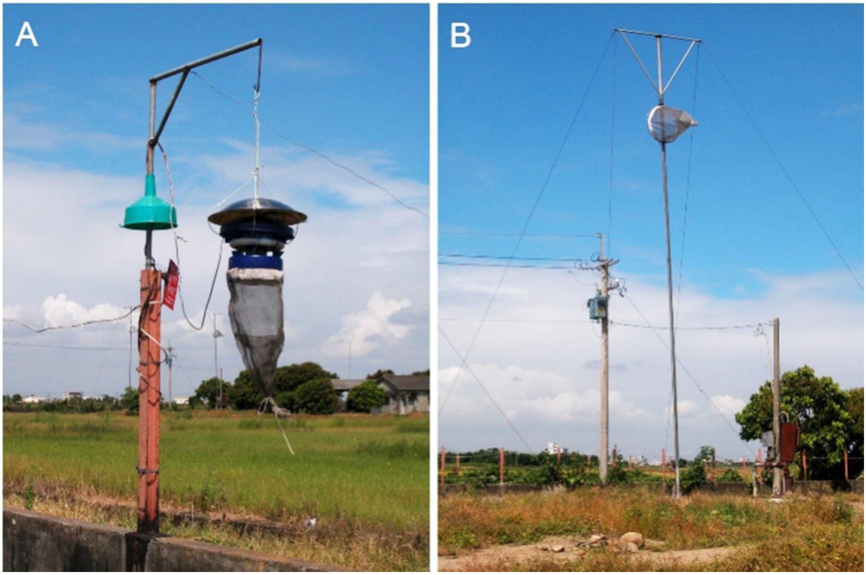
輕微；但在二期稻，各水稻區均呈現間歇性的嚴重發生與危害 (朱與鄭 1996；蕭等 1985)。此一現象與該等害蟲在終年繁殖區之北越及第一階段遷入地，屬於少量穩定越冬區之華南，常在第一期稻 (分別稱為冬春稻及早稻)，或無論在第一、二期稻 (夏稻、晚稻) 均可能遭受嚴重危害的情況有很大差別 (鈴木與和田 1994；鄭 1987, 1990, 2003；鄭與吳 1999；鄭與黃 2004；Dyck et al. 1979; Huang et al. 1997; Ich 1991; Xuyan 1997)。

由於褐飛蝨等四種遷移性害蟲原則上可以極少量地在臺灣稻田越冬，因此以往的研究人員並不懷疑是否有害蟲可由外地遷入的問題。直至 1976 年朱 (1977) 因鑒於溫帶地區發現褐飛蝨等可能由華南或華中長距離遷往日本的報告，首先提醒國內研究人員應注意該等害蟲有無可能遷入臺灣。1978 年台東區農業改良場劉清河先後在臺灣東海岸及綠島、蘭嶼和澎湖等離島，架設氣帶式捕蟲網 (air-born net trap) 偵察是否有褐飛蝨等之遷入現象，結果顯示於 4 至 6 月，當臺灣地區遭受鋒面，或 7 至 9 月受颱風環流影響，均可在氣帶式捕蟲網或誘蟲燈捕獲到「突增」數量的褐飛蝨，推測褐飛蝨極有可能由菲律賓或中國大陸遷入臺灣 (Liu 1984)。其後劉 (1988) 分析臺灣地區褐飛蝨輕微與嚴重發生年之氣象條件，

發現凡在 7 至 8 月間通過臺灣東北部或西南部之颱風達 3 至 4 個以上，且在兩次颱風之間有低氣壓籠罩在臺灣上空，平均氣溫在 28℃以上，相對濕度在 80%以上時，則有可能引起褐飛蝨的大量遷入，而導致水稻嚴重被害，否則發生輕微危害。

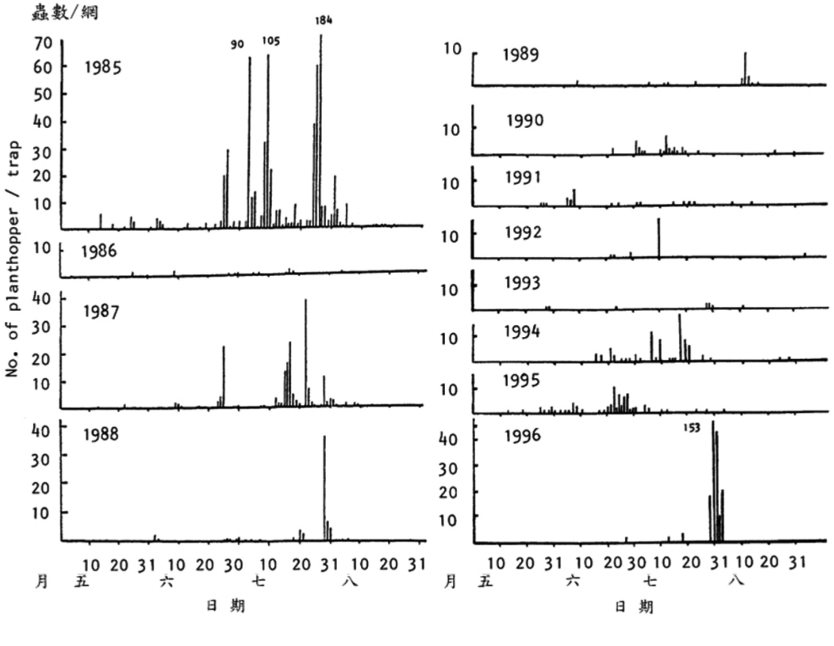
嘉義農業試驗分所跟著於 1979 年開始，在其位於嘉義縣溪口鄉 (約 123°E, 26°N) 的農場 (面積 20 公頃)，架設氣帶式捕蟲網、吸入式誘蟲燈 (suction light trap) (圖四)、黃色水盤誘蟲器 (yellow water pan trap) 及設置害蟲發生偵察田 (0.15 公頃)，偵測長距離遷移性害蟲之遷入期、遷入量及對第一、二期水稻危害程度之影響，並分析導引該等害蟲遷入臺灣之氣象條件，供作建立發生預測基礎。其後於 1985 至 1987 年，國家科學委員會經費補助台北、台中、高雄及台東等區農業改良場、以及臺灣大學和嘉義農業試驗分所，分別在台北三峽、彰化大村、嘉義溪口、屏東、澎湖馬公、台東香蘭及台東市等地設置氣帶式捕蟲網及誘蟲燈，作較大規模之偵察，結果顯示當氣象條件適於褐飛蝨與白背飛蝨等遷入時，在多數地點所架設的捕蟲器的捕獲蟲數都有「同期突增」之趨勢，突增之日與臺灣地區受鋒面、颱風外圍環流、或由颱風北上所引起之西南氣流有密切關連 (劉等 1989；鄭與盧

1990)。同期突增之現象亦發現於嘉義誘蟲燈及架設於花蓮外海約 255 公里之日本石垣島上之誘蟲燈的捕蟲數 (Cheng 1997; Yasuda 1997)。由於同一種害蟲的成蟲無論在誘蟲燈或田間，在氣象條件、地貌、栽培制度等環境不相同的大區域，有同期突然顯著增加的現象，且與本地該種害蟲族群發生時期或發生密度不對稱者，是為遷移性昆蟲遷入的一種特徵 (Johnson 1969)。因此從上述的事實，顯示褐飛蝨等遷移性害蟲的確有由海外遷入臺灣的現象。

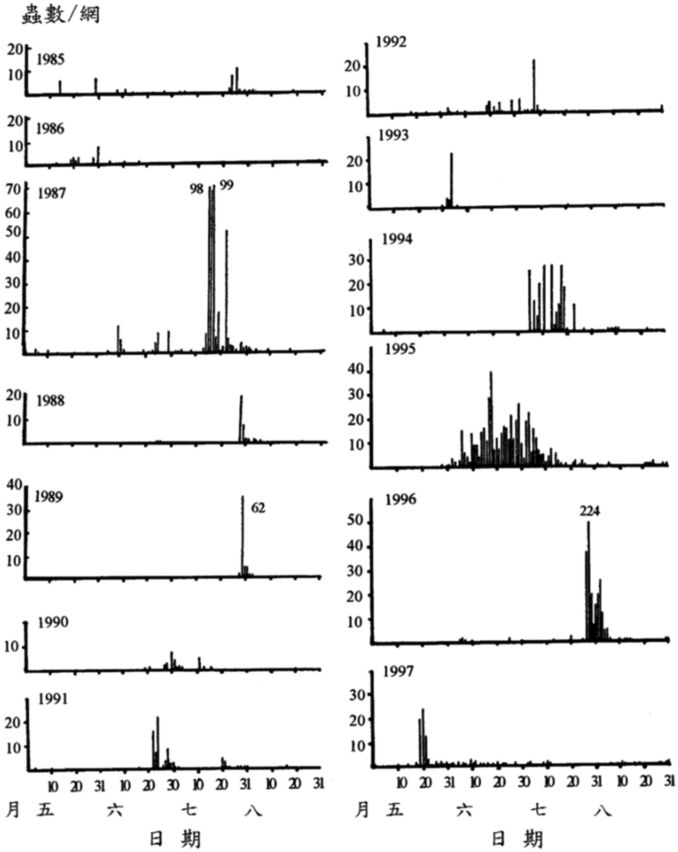


圖四、使用於偵測水稻害蟲遷入臺灣之誘捕蟲器材：吸式誘蟲燈 (A) 與 10 米高之氣帶式捕蟲網(B)。(鄭與盧 1990)

嘉義農業試驗分所利用10年以上累積的誘蟲燈及田間調查資料分析，發現在嘉義地區，褐飛蝨等四種遷移性害蟲，最早從3月下旬至4月上旬起就可偵測到零星的小遷入波，4月下旬至 5月中旬又有一較明顯的遷入波，遷入的蟲數逐漸增加，6 中旬至 7 月下旬為遷入盛期，其後遷入量逐漸下降至 8 月底 (圖五與圖六)，9 月上、中旬後，因該等害蟲遷入本地後所繁殖後代族群的密度已大幅增高，是否另有由海外遷入者，有待進一步探究 (鄭 1990)。



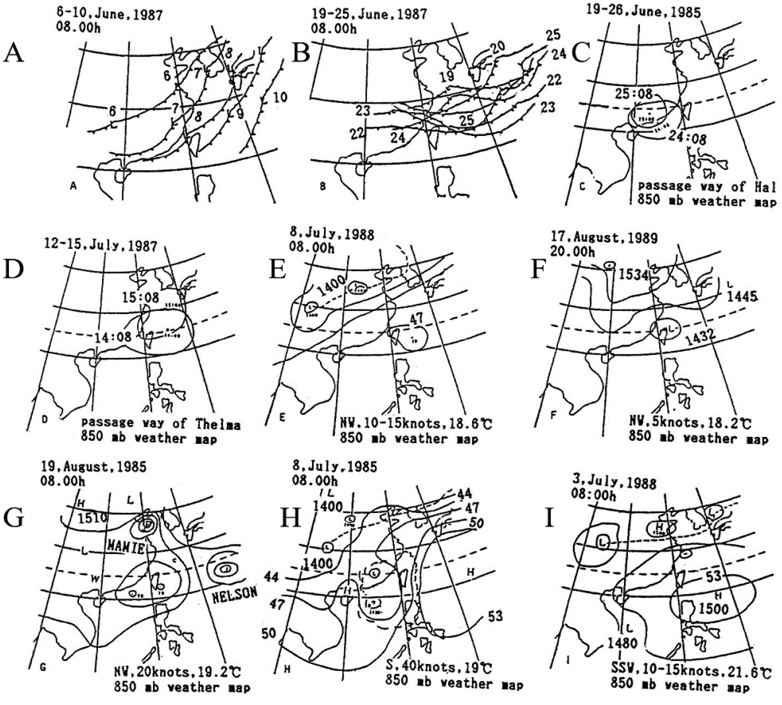
圖五、1985 至 1996 年在 5～8 月遷移性害蟲主要遷入期中於氣帶式補蟲網每日捕獲褐飛蝨之蟲數變動圖。(Cheng 1997)



圖六、1985 至 1997 年在 5～8 月遷移性害蟲主要遷入期中於氣帶式補蟲網每日捕獲白背飛蝨蟲數之變動圖。(Cheng 1997)

導引褐飛蝨等遷移性害蟲遷入臺灣之氣象型態，按地面天氣圖可歸納為鋒面型 (圖七 A 與 B)、低壓環流型 (含括颱風 (圖七 C 與 D)、熱帶性低壓 (圖七 E)、移動性低壓 (圖七 F)、低壓帶 (圖七 G)、西南氣流型 (圖七 H) 及太平洋副高壓型 (圖七 I) 等。在嘉義地區有遷移性害蟲顯著遷入之氣象條

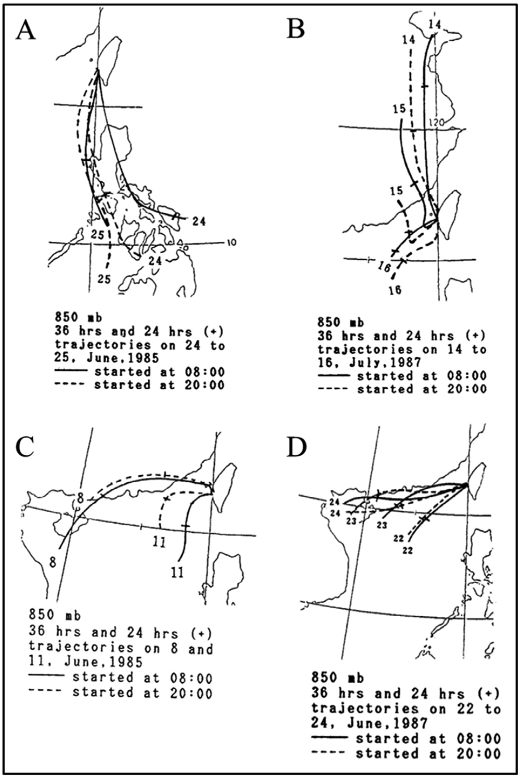
件為 (1) 在 850 hPa 圖上，華南地區及其臨近海面存有西南偏西分向氣流，風速達 20 km/hr 以上，並延伸至嘉義地區；或在呂宋島中、北部具有東南或西南之偏南氣流，並延伸至臺灣，且溫度在 17℃以上；(2) 在地面氣象圖上，嘉義地區吹西南偏西或東南偏南的分向氣流，最大風速在 19 km/hr 以上，有下沉氣流或降雨，地面氣溫在 22℃以上 (鄭與盧 1990)。



圖七、嘉義地區於誘蟲燈捕獲褐飛蝨蟲數呈現明顯突增日期之地面氣象圖 (A 與 B 為鋒面系統，主遷日在 A 圖為 6 月 8 至 9 日，在 B 圖為 6 月 22 至 25 日；C 及 D 為颱風環流；E 為熱低壓環流；F 為移動性低壓環流；G 為低壓帶環流；H 為西南氣流；I 為太平洋高壓環流)。(鄭與盧 1990)

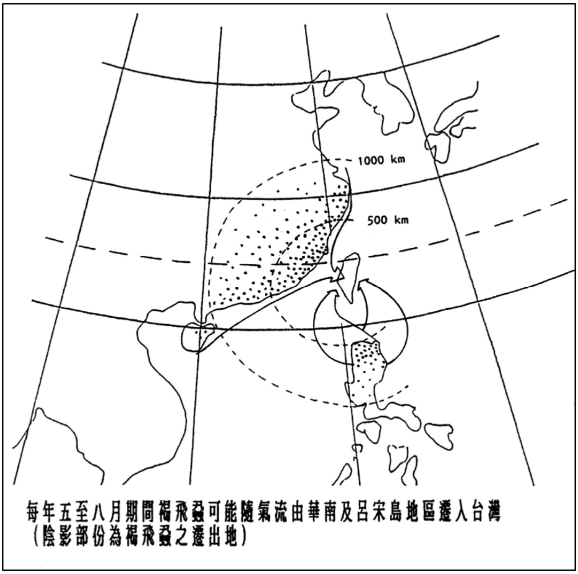
從已往偵測紀錄分析顯示，在 5 至 6 月導引遷移性害蟲遷入臺灣的氣象條件以鋒面型居多 (主要影響第一期稻)，而 7 至 8 月則以颱風及低壓環流的氣象型態占多數 (主要影響第二期稻) (鄭與盧 1990)。在臺灣於稻飛蝨的主要遷入期，可能受西南季風或東南季風的導引，而在此期間，於臺灣鄰近國家有大量長翅型的褐飛蝨或白背飛蝨成蟲可以遷出的水稻地區推測，華南水稻區最有可能為遷入臺灣之主要地區。華南地區之稻飛蝨遷出盛期出現於 6 月中、下旬至 7 月上、中旬 (胡等 1988；張與陳 1979；程等 1979)，與臺灣之主要遷入期相當吻合 (鄭與盧 1990)。其次為大陸福建及浙江沿海水稻區 (張與陳 1979)，早稻於 7 月中、下旬成熟，在 7 至 8 月間，若有颱風或低壓環流涵蓋閩浙沿海及臺灣西部，就有可能將閩浙沿海地區大量遷出的遷移性害蟲導引遷入臺灣 (胡等 1988；鄭與盧 1990；Huang et al. 2010)。以氣流的後 (逆) 向流軌線圖分析，顯示在臺灣附近地區，於水稻成熟期間就有水稻遷移性害蟲遷出，無論是鋒面系統或颱風，只要所處位置適當，可以將華南或華中的氣流導向臺灣，就有機會使該地區遷出的褐飛蝨等遷移性害蟲引導遷入臺灣。以 850 hPa 氣象圖之氣流的逆向流軌線追溯，該地區遷出的稻飛蝨在 24 至 36 小時之內，就有可能隨氣流遷飛至

嘉義地區 (圖八 A)。另外，由北越的紅河三角洲、海南島、以及菲律賓的呂宋島等地區遷出的遷移性昆蟲，若有適當氣流，如穿過臺灣海峽往廣東汕頭 (約23.5°N) 附近登陸之颱風，或低壓帶的環流，以及沿臺灣東岸往北移動之颱風所導引之西南氣流，太平洋副熱帶高壓導引之東南氣流等，都有可能將褐飛蝨等遷移性害蟲引入臺灣 (鄭與盧 1990；Huang et al. 2010; Otuka et al. 2007; Otuka et al. 2008)。文獻資料顯示，褐飛蝨及白背飛蝨於遷出後之降落蟲量與遷出



圖八、嘉義地區有顯著捕獲遷入稻飛蝨之日期由嘉義 850 hPa 高度之氣流逆向追溯 24 與 36 小時的流軌線圖，顯示凡颱風環流可涵蓋中國大陸及嘉義地區 (B) 或橫在臺灣北部之梅雨鋒 (C, D) 皆有可能自華中或華南引入遷移性稻飛蝨；而由颱風北上引入之西南氣流 (A) 則有可將呂宋島之稻飛蝨導引遷入台灣。(鄭與盧 1990)

地之距離成反比，但其遷移距離卻可達一千公里以上 (程等 1979)，按此估算，則距臺灣 1,000 公里左右範圍內，包含北越紅河三角洲及海南島以北、湖南以東、浙江以南及呂宋島中北部等地區所遷出的稻飛蝨，若有適當的氣流，都有機會將之帶入臺灣 (圖九)；另從臺灣的地形與遷入期間的氣流研判，鋒面系統與由北上的颱風環流引入的稻飛蝨以來自華中以南者為主，而由西南氣流或太平洋高壓環流引入者，以來自呂宋島為多 (程等 1979；鄭與盧 1990；Huang et al. 2010; Otuka et al. 2007, 2008, 2012)。



圖九、褐飛蝨與白背飛蝨可能遷入臺灣之海外地區的範圍。

越南紅河三角洲在 5 月中、下旬至 6 月上旬為兩種稻飛蝨遷出高峰期 (Xuyen 1997)，盛行的西南季風，可將遷出的稻飛蝨載運而遷入華南稻區。如前面所述，臺灣因位於中國大陸之東南隅，西南季風若無強盛的偏西分向氣流，則不可能導引稻飛蝨等害蟲遷入臺灣；而呂宋島位於臺灣之南方，該地區之旱季稻 (1~6 月) 的褐飛蝨之主要遷出期為 3~4 月 (Dyck et al. 1979)，此時該地區盛行東南季風，若無強盛之偏南氣流亦不可能讓稻飛蝨遷入臺灣；在雨季稻 (7~12 月)，稻飛蝨之遷出盛期為 10~11 月，最早可能遷出也需在 8 月中、下旬以後，此時該地盛行西南季風，亦需有強盛的偏南的氣流才能導引稻飛蝨等遷入臺灣 (鄭與盧 1990)。褐飛蝨、白背飛蝨及瘤野螟等遷移性害蟲最初是從越南的紅河三角洲遷出，再隨西南氣流的途徑遷移。與遷出地鄰近之華南的廣西的水稻區之遷入蟲數最高，在較大的遷入波 (2~3 夜) 每一誘蟲燈捕獲褐飛蝨的蟲數可達 1 萬餘隻至 8 萬多隻，其次為廣東、湖南、安徽，每遷入波於誘蟲燈的捕蟲數可由數百隻至 7,000 多隻 (Otuka et al. 2007)。臺灣因位於紅河三角洲之東北東方，且與該地之距離達 1,600 多公里，與呂宋島中部水稻區之距離亦達 1,000 多公里，因距離較遠，且非位於遷移的主要途徑上，從 1985 至 2010 年於 5 月中，在每一遷

入波於誘蟲燈捕獲之褐飛蝨與白背飛蝨的合計蟲數，大多數在 50 隻以內，最高者亦不超過 200 隻；更重要的是在 5 月間，於台中以南地區的水稻發育已進入抽穗至成熟期，此時之水稻已不太適於該等遷入蟲之取食與繁殖，且至水稻收割期最多只能繁殖一個世代而已，因此在臺灣第一期水稻遭受遷移性害蟲危害並不嚴重。在 6 月中旬至 7 月下旬為遷移性害蟲之遷入高峰期，此時適逢第一期稻收穫期及第二期稻種植前之整地期，田間幾已無良好寄主可供其取食及繁殖。在 7 月下旬至 8 月中旬為二期稻種植期，已屆遷移蟲遷入臺灣高峰之末期；每年遷入的蟲數變動很大，多者每誘蟲燈可達數千隻，少者只有數十隻，導致二期水稻之遭受危害程度年度間變異甚大 (鄭 1990)。

第二節 遷移性水稻害蟲遷入臺灣與水稻被害之關係

在臺灣中部地區，褐飛蝨、白背飛蝨、斑飛蝨及瘤野螟等害蟲，每年從 5 至 10 月期間，約每 25 至 28 天就可完成一個世代，且四種害蟲之若 (幼) 蟲在抽穗後水稻植株取食所發育之成蟲，都有向外遷出的習性 (鄭 2003；鄭與黃 2004；Wada & Kobayashi 1991; Zhang 1991)。

嘉義地區，四種遷移性害蟲在第一期稻，於 5 月之前田

間發生密度甚低，其後由外地遷入的蟲數雖然稍有增加，但此時已屆第一期稻抽穗期，到 6 月上、中旬水稻收穫時，該等害蟲最多只能繁殖一個世代，因成熟期水稻不利於遷入成蟲之繁殖，不至導致災害 (鄭 1990；鄭與吳 1999；鄭與黃 2004)。

按 1982 至 2003 年間在無殺蟲劑處理的偵察稻田調查，褐飛蝨、白背飛蝨和瘤野螟等，在第一期水稻的乳熟至糊熟期間的最高密度，每叢水稻分別只有 11 隻、1.4 隻及 1.4 片被害葉，對水稻產量均不致構成影響。然而在第一期之晚植稻(冬季裡作田)，尤其在雜作區或休耕地較多的地區，因遷移蟲遷入後，容易集中在晚植稻上產卵繁衍，在 4 至 5 月有較明顯的遷入時，就有可能遭受稍嚴重的危害。

第二期水稻，在臺灣中部地區大部分在 7 月下旬至 8 月上旬插秧，此時已在遷移性害蟲主要遷入之末期。該等害蟲在第二期稻之發生程度，與 7 月下旬至 8 月下旬之遷入成蟲數具極密切的關係 (鄭 1990；鄭與吳 1999；鄭與黃 2004)，就褐飛蝨而言，遷入蟲數，無論是以水稻移植後 30 天在田間調查棲息於水稻上的雌成蟲數，或以 7 至 8 月間之誘蟲燈捕獲蟲數表示，都與該蟲在 10 月下旬田間水稻上之最高族群密度具顯著相關，相關係數分別為 r^2=0.752 (p<0.01)，及 r^2=0.677

(p<0.05)；7 至 8 月間誘蟲燈捕獲蟲數對褐飛蝨最高族群密度的貢獻百分率達 50%以上。在 8 月最高溫超過 34℃的日數及與 8、9 月間每小時降雨量超過 10 釐米之日數，則對褐飛蝨族群增長具負面影響，但 10 月之高溫則有利於褐飛蝨的族群增長 (鄭 1990)。

對白背飛蝨而言，其族群高峰絕大部分出現於成蟲遷入後第一或第二世代若蟲期，分別於 9 月間水稻分蘗末期，及 10 月間之水稻孕穗至乳熟期。9 月間田間族群高峰密度與 8 月間誘蟲燈之捕蟲數相關最密切 (r^2 = 0.5525, p<0.01)，而與 9 月份降雨量呈顯著之負相關 (r^2 = -0.4679, p<0.05)；10 月間田間族群高峰密度分別與 8、9 月被誘蟲燈之捕獲蟲數 (相關係數分別為 r^2 = 0.5472, p<0.01) 及 r^2 = 0.4832, p<0.05) 及 10 月之平均溫度 (r^2 = 0.4857, p<0.05)) 呈極顯著或顯著的正相關，而與 9 月降雨量呈顯著的負相關 (r^2 = -0.4033, p<0.05) (鄭與黃 2004)。

瘤野螟在第二期水稻上之發生族群，密度高峰大部份出現於遷入後之第二世代幼蟲期，相當於水稻孕穗末期至抽穗期間。此一世代成蟲數與 7 月下半月至 8 月底遷入期被誘蟲燈之捕獲蟲數相關顯著 (r^2= 0.7569, p<0.05)，但與 9 月中旬至 10 月上旬第一世代成蟲之捕獲蟲數相關極顯著 (r^2 = 0.869,

$p<0.01$) (鄭與吳 1999)。

斑飛蝨在臺灣中部地區二期水稻收穫後，尚有許多寄主植物，如高梁、玉米、小麥等，可供取食繁衍，其族群密度與上述作物之栽培面積有密切關係，族群高鋒無論在第一或第二期水稻都出現於水稻齊穗至乳熟期間，每一掃網平均可達 50~70 隻；第一期稻之斑飛蝨的族群高峰密度與前年 12 月田間黃色水盆捕蟲數及 4 月間誘蟲燈捕蟲數皆有明顯相關，r^2 值分別為 0.53 ($p<0.05$) 及 0.64 ($p<0.01$)。由於族群之成長型是呈現連續增高狀態，並無呈現明顯「突增」之現象，顯示本地區越冬蟲的密度為貢獻斑飛蝨在第一期水稻之族群高峰的主要因素。

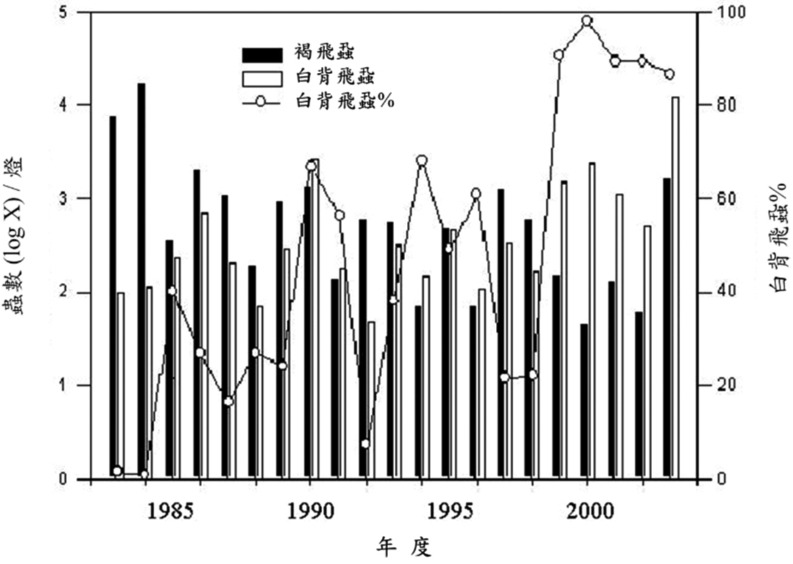
在第二期水稻，於褐飛蝨等遷移性害蟲遷入期間，7 月中、下旬至 8 月下旬，每當誘蟲燈或氣帶式捕蟲網，捕獲褐飛蝨或白背飛蝨的蟲數有「突增」現象的日期，斑飛蝨的捕獲蟲數亦較平時捕獲蟲數呈現略增之現象，但這些增加的蟲數究竟是由本島其它地區或是境外遷入者，尚難予判定；惟以 1995 至 2003 所獲數據分析顯示，7~8 月誘蟲燈捕獲之斑飛蝨蟲數，或水稻移植後 30 天內，在觀察田設置之黃色水盤的捕獲蟲數，與 10 月間田間最高發生蟲數都呈顯著的相關，相關係數分別為 0.45 ($p<0.1$) 及 0.63 ($p<0.01$) (鄭 2003)。

由上述結果顯示，由境外遷入之成蟲數量對第二期稻四種遷移性害蟲之發生密度具密切影響。按已往經驗，凡在第二期稻插秧前半個月至插秧後一個月的期間內，每一誘蟲燈捕獲之褐飛蝨、白背飛蝨及瘤野螟蟲數分別達到 500, 700 及 50 隻以上，且在 8~9 月間少有豪雨，10 月高溫，則在遷入後之第二或第三世代若 (幼) 蟲期之危害，就有可能對水稻造成經濟損失，需要加強監視，當發生族群密度達到足以造成經濟危害損失時就應該加以防治處理 (鄭 2003)。

第三節　遷移性水稻害蟲遷入臺灣之變動及趨勢

遷移性水稻害蟲每年遷入臺灣之時期及數量，除受氣象條件 (有無適當的載運氣流) 之影響外，並受紅河三角洲、華南、華中沿海省分及呂宋島等稻作區該等害蟲之發生情況所左右。嘉義農業試驗分所分析 1985 至 1997 年間偵察褐飛蝨等遷移性害蟲之變動，發現該等遷移性害蟲每年之遷入期、遷入波數及數量變異甚大。如 1985 年在 5 至 8 月間，氣帶式捕蟲網可偵測到 15 個遷入波，其中有 3 個遷入波次褐飛蝨被捕蟲數達 180 隻以上；在誘蟲燈，褐飛蝨被捕蟲數在 7 月上半旬有 2 個波次各捕獲到 3 千隻以上，另在 6 至 7 月中有 4 波次，每波次捕蟲數亦達 1 至 2 千隻，當年二期稻被害相當

嚴重，被褐飛蝨危害而導致水稻枯萎之稻田隨處可見；然而在 1986 與 1990 年雖分別偵測到 9 及 3 個遷入波，誘蟲燈每一遷入波之誘捕蟲數只有 10 隻左右 (參閱圖五與圖六)，該兩年二期稻被害甚為輕微，連在完全無施用殺蟲藥劑之偵察田，亦未因被危害而產生「蝨燒」的現象 (鄭與盧 1990)。



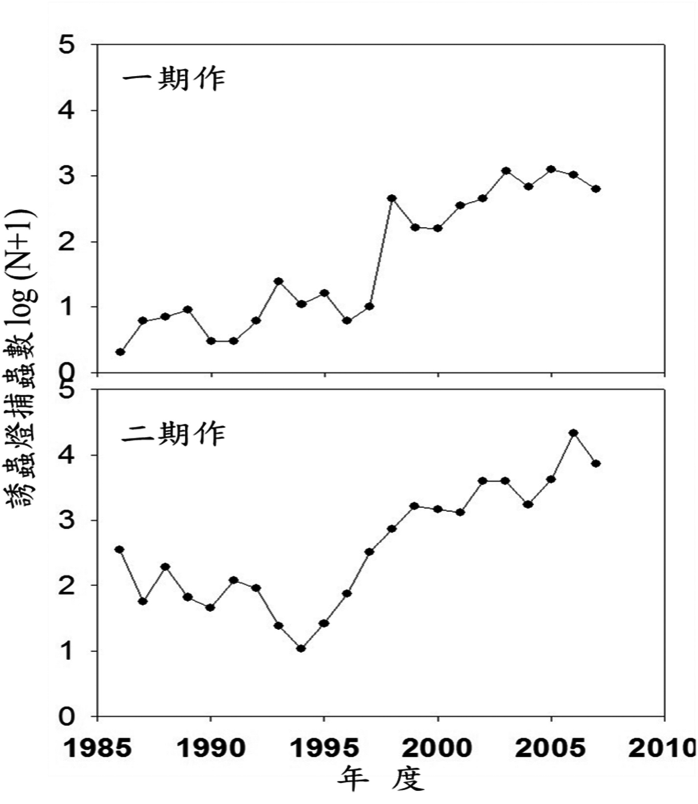
圖十、1983 至 2002 年嘉義地區褐飛蝨與白背飛蝨在主要遷入期 5 至 8 月期間誘蟲燈捕蟲量之變化及白背飛蝨所佔之比率。(鄭 2003)

白背飛蝨之遷入期通常略較褐飛蝨為早，但每年遷入蟲數在 1985 年以前都顯著地較褐飛蝨為少，其後白背飛蝨在誘蟲燈之捕獲蟲數的比例逐漸超越褐飛蝨，尤以 2000 年以後更為明顯。在 1983 至 1987 年，白背飛蝨被誘蟲燈捕獲蟲數約

佔褐飛蝨與白背飛蝨的總捕獲蟲數之 3%，但在 2000 至 2004 年間，白背飛蝨在遷入期之捕蟲數增加了 13.1 倍，約占兩種遷移性稻飛蝨之總捕蟲數的 92%，而褐飛蝨之被捕的蟲數則較 1983 至 1987 年的平均捕獲蟲數減少 349 倍，顯示遷出地該兩種稻飛蝨的發生比率已有很大的改變，白背飛蝨的發生程度已明顯地高於褐飛蝨 (圖十)。此種發生比率的改變亦發生於中國大陸及日本，可能與華南及紅河三角洲大面積種植雜交稻有關 (鄭與黃 2004；Huang et al. 2007; Sogawa et al. 2008; Thanh et al. 2007; Watanabe et al. 2008)。

瘤野螟在 1997 年以前，於遷入期與在水稻孕穗末期至抽穗期間之主要危害時期，誘蟲燈之捕獲蟲數，除 1986, 1988 及 1991 年稍高外，其他年度均甚低，但自 1997 年後即呈明顯增加 (圖十一)，尤其在 7 至 8 月間之捕蟲數增加最為明顯，二期稻自該年後皆遭受嚴重危害 (圖二十二)。 由 1986 年至 2004 年 10 至 11 月間誘蟲燈之捕獲蟲數 (主危害世代之成蟲) 觀察，在 1986 至 1996 年間除 3 年有超過 100 隻外，其他年份均低於 60 隻；但在 1997 年後，在該兩個月誘蟲燈之捕獲蟲數呈大幅度增長，尤其在 1999, 2000 及 2002 年以後均超過 1,000 隻，增加幅度達 10 倍以上，無防治稻田之水稻葉片幾全部被害，稻田呈現蒼白一片。在第二期稻，瘤野螟發生趨

向嚴重的主要原因與自外地遷入之蟲數的增加有密切關係，在 1990 至 1995 年由 7 月下旬至 8 月底，每年誘蟲燈的捕獲的成蟲數平均為 8.8 隻，而從 1999 至 2003 年間，同期間每年平均捕獲成蟲數為 211 隻，約增加了 24 倍。由此可見該等遷移性害蟲在遷出地之變動，亦可影響其在臺灣之發生程度 (鄭 2003；Cheng 1997)。



圖十一、1986～2006 年在嘉義地區之第一期水稻 (上圖) 與第二期水稻 (下圖) 期間誘蟲燈捕獲水稻瘤野螟之年度變化圖。(鄭 2007)

第四節　遷移性害蟲遷入對臺灣水稻害蟲管理之衝擊

遷移性害蟲之遷入，除影響害蟲發生族群密度的變異範圍，增加發生預測的困難，並使適當的防治期難以掌握。此外遷移性害蟲在遷出地的抗藥性、對由某一特定基因所支配之抗蟲水稻的適應性 (生物小種)、以及由遷移性害蟲所媒介之病毒病害等，都將嚴重的影響遷入地的蟲害管理方式。以使用藥劑為例，益達胺 (imidacloprid) 屬於新尼古丁系藥劑，是一種防治褐飛蝨極為優良的殺蟲劑，自 1990 年前後開始就在日本、臺灣、中國、越南及印尼等地大面積使用，經 10 餘年的使用，在 2000 年褐飛蝨就被發現在日本已產生明顯的抗藥性，LD_{50} 測值較 1999 年就增加 10 倍 (Nagata et al. 2002)，其後再於 2006 檢測，抗藥程度又有持續增加之勢 (Matsumura et al. 2009)。檢討褐飛蝨對益達胺之抗藥性快速增加的主要原因，可能與褐飛蝨之遷出區，紅河三角洲及華中以南之水稻區，連年大面積使用同一種藥劑之選汰結果有關 (Watanabe et al. 2007)。

在中國大陸華中與華南地區，褐飛蝨於 2005 年又再度嚴重大發生，檢討原因與由境外遷入的蟲數異常增加，及水稻生長期中連續遭受數颱風的影響，陰雨綿長，及耽誤施藥處理有關；但很多報告認為褐飛蝨對農民最喜愛使用之農藥益

達胺產生高度的抗藥性，未能有效的抑制褐飛蝨之族群的增長與危害，是為最重要的原因 (松村等 2007；翟與程 2006；Chen & Zhu 2006)。自 1990 年後益達胺是中國農民防治褐飛蝨的主力藥劑，每一期稻施用 3~5 次；於 1990 年代中期後，中國生產的益達胺亦大量出口越南，致使該藥劑之生產量由 2002 至 2005 年約增加 4 倍之多。紅河三角洲被推測為東亞遷移性水稻害蟲之最初遷出蟲源地，褐飛蝨經越南、華南及華中地區，連續大面積使用同一藥劑汰選的結果，導致從 2005 至 2007 年褐飛蝨在越南與中國的嚴重發生，同時亦受波及日本與臺灣 (松村等 2007；黃 2013；Catindig et al. 2009; Matsumura et al. 2009; Watanabe et al. 2009)；更糟的是抗益達胺的褐飛蝨對同屬於新尼古丁系劑之達特南 (dinotefuran) (黃 2003) 與賽速安 (thiamethoxam) 產生正交叉抵抗性 (黃 2013；Matsumura et al. 2009)，使褐飛蝨防治之藥劑選擇應更謹慎。

同樣現象，亦發生於東亞地區普遍用於防治白背飛蝨、瘤野螟及二化螟的藥劑芬普尼 [fipronil，屬苯吡唑類藥劑 (phenylpyrazole insecticide)]，從日本、韓國、中國、越南、菲律賓及臺灣所採集白背飛蝨對該種藥劑的的感受性已甚低，顯示已經產生很高的抗藥性 (Matsumura 2012; Matsumura et

al. 2009)，但是瘤野螟與二化螟是否也已經對芬普尼產生抵抗性，則尚無報告可稽。臺灣多年來推薦於褐飛蝨、白背飛蝨等遷移性害蟲防治的藥劑多達數十種，隨著遷入進來害蟲抗藥性的變動，目前到底還有多少種藥劑，對遷入的害蟲仍有防治效果，亟待重新篩檢，提供農民應用，以免需要防治時誤選無效藥劑而造成嚴重損失。

類似藥劑使用一樣，因大面積連續栽植由同樣抗蟲基因所支配之水稻品種，經數年後，可能產生有害生物小種 (virulent biotypes) (寒川 1993；鄭 1975；Cheng 1983)，且可隨氣流遷移至其他地區，致使被遷入地區由相同基因所控制之抗蟲水稻品種的抗蟲特性為之崩潰，如褐飛蝨抗蟲水稻品種在東南亞廣泛栽植後，產生有害生物小種的褐飛蝨，透過遷移而波及東北亞地區 (寒川 1992, 1993)；另外如斑飛蝨可以媒介傳播縞葉枯病毒，大陸長江流域的帶毒蟲亦可隨氣流遷移至日本與南韓等地區而引起災害 (Lee et al. 2012; Otuka 2012) (有關有害生物小種與病毒病害擴散及遷移性害蟲的關係，請參閱第伍章遷移性害蟲生物簡介，及第陸章之遷移性害蟲防治對策中之水稻品種一節，有更詳細的敘述)，因此對遷移性害蟲在遷出地之發生變化，如害蟲種類的更迭、抗藥性、生物小種以及經由其傳播之病毒病害等，都深值我們持續留意及警惕。

第伍章 主要遷移性水稻害蟲之生物學

在東亞地區已知的長距離遷移性水稻害蟲，主要者有褐飛蝨、白背飛蝨、斑飛蝨、瘤野螟、粟夜盜及直紋稻挵蝶 (*Parnara guttata*) 等。此外東亞飛蝗 (*Locusta migratoria manilensis*) 和綠蝽象 (*Nezara viridula*) 等亦被認為具長距離遷移潛能，但尚缺乏系統性深入的研究。茲將已紀錄分布於臺灣的遷移性水稻害蟲之發生沿革及生物學，簡要介紹如下：

第一節 發生沿革

褐飛蝨、白背飛蝨、斑飛蝨、瘤野螟及粟夜盜等害蟲，在臺灣日據時期即被記載為間歇、偶發性之重要水稻害蟲 (朱與鄭 1996；新渡戶 1912)；前四種為近 50 餘年來臺灣水稻之重要害蟲，粟夜盜則可危害多種禾本科作物，如水稻、陸稻、玉米、高粱、小米、小麥、甘蔗及牧草等，在臺灣偶有對水稻造成局部危害的紀錄 (王 1947)；而直紋稻挵蝶主要分布於溫帶地區，在臺灣地區雖有分布，但並非重要的水稻害蟲。

褐飛蝨及白背飛蝨在 1912 年開始出現於臺灣文獻 (新

渡戶 1912)，在平時因發生密度較低，並不受特別關注，但偶而卻可造成猖獗危害，致使稻穀之重大損失。兩種稻飛蝨常混合發生危害，曾於 1910, 1912, 1916, 1930, 1938, 1941, 1958, 1962 及 1964 年在局部地區造成嚴重危害，於 1965 至 1985 年間發生頻繁，每年第二期稻，若疏於防範，就有可能被害成災，其後褐飛蝨的發生程度雖稍趨於緩和，但白背飛蝨卻逐漸取而代之，兩者聯合危害曾於 1987~1990, 1994, 1996, 2001~2006 及 2013 年在局部地區危害成災 (朱與鄭 1996；福田 1934；鄭與朱 1999；Huang & Cheng 2007)。值得注意的是在 1998 年以前，褐飛蝨的發生密度較白背飛蝨高出甚多，但其後因受海外遷入量的影響，白背飛蝨在誘蟲燈之被捕蟲數佔褐飛蝨與白背飛蝨總捕蟲數之 60~90%，反而較褐飛蝨為高，可能與越南紅河三角洲在 1990 年後期自中國引入雜交稻大面積栽植有關 (Thanh et al. 2006)。越南紅河三角洲已被證明為東亞地區水稻褐飛蝨、白背飛蝨及瘤野螟等三種遷移性水稻害蟲之最初遷出的主要地區 (Sogawa 1997; Otuka 2010)，該地區栽培的水稻品種、耕作措施以及蟲害管理方式等，都可影響遷出害蟲的種類及數量，進而波及遷入地區之害蟲的發生種類及數量的變化。

斑飛蝨在臺灣最早紀錄於 1904 年，與二化螟 (*Chilo*

suppressalis)、三化螟 (*Scirpophaga incertulas*)、黑尾葉蟬 (*Nephotettix* spp.)、負泥蟲 (*Oulema oryzae*) 及鐵甲蟲 (*Dicladispa armigera*) 併列為水稻六大害蟲 (川上 1905)，曾在 1912 年嚴重發生，其後在水稻上的紀述完全消失 (朱與鄭 1996)，直至 1970 年代因斑飛蝨媒介傳播之水稻縞葉枯病 (rice stripe virus) 在臺灣中、南部大發生始再被重視 (陳與柯 1989；鄭 1985, 1986, 2003；謝 1971)，至 1980 年代政府因水稻生產過剩，獎勵大面積轉植玉米、高粱及小麥等作物，以及推行不整地栽培冬季裡作，導致斑飛蝨的族群大幅增長，對水稻構成嚴重危害。由於斑飛蝨可以在臺灣順利越冬，各蟲期周年可見，在褐飛蝨或白背飛蝨遷入波出現期間，雖然在誘蟲燈之斑飛蝨的捕蟲數亦略有增加的現象，但通常其族群的起伏變動，並不若上述兩種稻飛蝨明顯，因此一直被認為是地區性害蟲。然而在 1969 年 7 月，岸本 (1975) 在東海採集昆蟲，就發現為數僅次於褐飛蝨與白背飛蝨的斑飛蝨，在東海上被發現，但因斑飛蝨亦可在日本地區越冬，而未被重視。其後在 1984~1985 年於臺灣的屏東與嘉義地區，第一期稻嚴重發生由斑飛蝨所媒介的縞葉枯病，同年在日本沖繩縣之八重山諸島亦發生縞葉枯病，推測可能受到由臺灣遷出之斑飛蝨的傳播所致 (寒川 1992)。在 2000 年後，

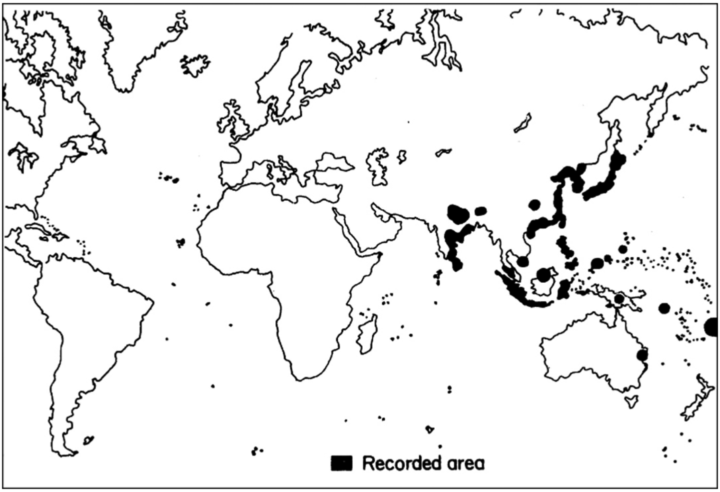
水稻縞葉枯病在中國長江下游沿岸與江蘇一帶流行，同時蔓延至華北與遼寧地區，以及韓國及日本等地，經一連串的求證，終於證明是受到由江蘇疫區遷出之斑飛蝨長距離遷移傳播所導致 (Lee et al. 2012; Onuki 2012; Otuka 2012; Otuka et al. 2012 ; Zhou & Cheng 2012)，至此才有直接證據證明斑飛蝨為另一長距離遷移性的水稻害蟲。

瘤野螟亦自 1910 年就被記載為偶發性的重要害蟲 (堀與素木 1910；新渡戶 1912)，但其嚴重發生頻率與危害面積都遠低於褐飛蝨，直到 1960 年代後期，因東南亞地區推展水稻綠色革命，大面積栽植半矮性、高產量之秈稻品種，施用重氮肥及過量使用合成殺蟲劑防治水稻害蟲後，本害蟲發生危害頻度始逐漸增加，因此有關其生態與防治研究報告大都出現於 1970 年代中期以後 (王 1977；陳與王 1978；陳與蘇 1983；顏 1981；鄭 1987；鄭與吳 1999)。瘤野螟主要危害第二期稻，被害面積由 1966 年之 13 萬餘公頃持續增加至 1970~1980 年代期間之 20 餘萬至 30 餘萬公頃 (蕭等 1985)，1990 年代後發生危害更形嚴重，若無防治或施藥不當，整塊田的水稻葉片可能全部被啃食成為一片蒼白狀 (鄭與吳 1999；Cheng 1997)。

第二節 主要遷移性害蟲生物學簡介

1. 褐飛蝨

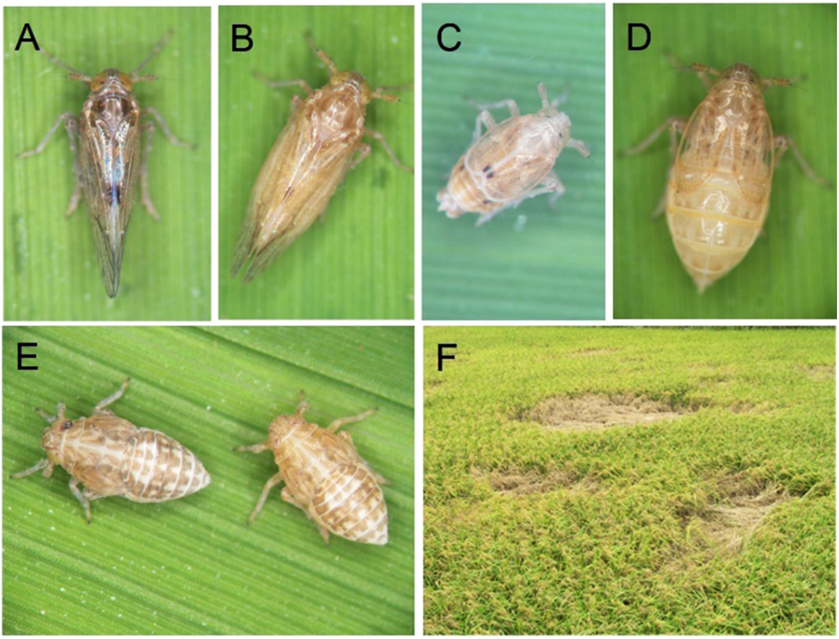
褐飛蝨 (*Nilaparvata lugens*) 屬於同翅目 (Homoptera) 稻蝨科 (Delphacidae) 的一種小型昆蟲；無休眠性，只能在元月平均氣溫 19℃以上地區周年繁殖，16~19℃的地區越冬，是一種屬於熱帶地區昆蟲，但其分布卻遍及南、北緯 42° 間之亞太及澳洲北部地區 (圖十二)；稻屬植物，尤其是水稻為其主要寄主 (程等 1979；Mochida & Okada 1979)。



圖十二、褐飛蝨之主要分布與水稻被害地區。(Dyck & Thomas 1979)

褐飛蝨的成蟲具多型性，有長翅與短翅兩型 (圖十三 A)，前者雄蟲體 (含翅長) 3.8~4.2 公釐，雌蟲為 4.4~4.8 公釐；短翅者之前翅僅及長翅型之半，雄蟲體長 2.0~3.1 公釐，

雌蟲為 2.7~3.5 公釐。成蟲全體呈淡黃褐至暗褐色，前胸背板及中胸小楯片褐色，上面有不甚明顯之縱線三條，後足脛節有刺，末端具有活動距，如鐮刀狀，其上有 30~36 個齒狀突起。前翅後緣近中央處有黑褐色斑紋，靜止兩翅膀合併時，該斑紋呈長卵形。長翅型成蟲適於遷徙，因此在水稻移植後不久，褐飛蝨即以長翅型成蟲侵入稻田繁衍，其第一、二世代族群密度較低，若蟲分別出現於水稻分蘗期與孕穗期，因水稻營養較佳，若蟲多數發育為短翅型成蟲，適於大量產卵繁衍；但其後世代 (第三世代) 族群密度已高，且若



圖十三、褐飛蝨之長翅型雄成蟲 (A)、雌成蟲 (B)、短翅型雄成蟲 (C)、雌成蟲 (D)、四齡期若蟲 (E)、水稻被危害呈局部蝨燒狀 (F)。

蟲出現於水稻抽穗後，寄主已老化、營養較差，所發育之成蟲絕大部分為長翅型，適宜遷徙他處，尋找新的棲地。

褐飛蝨的卵略呈香蕉形，先端稍尖，長約 0.7 公釐，產於水稻葉鞘脊部組織內，數粒至 10 餘粒產於一處，由卵帽相互黏附而成卵塊，產卵痕清晰可見。初孵化之若蟲呈乳白色，其後呈現淡褐至暗褐色，體背具有淡白至乳白色斑紋 (圖十三 B)，形狀與數目隨蟲齡而異。若蟲有 5 個齡期，在第 3 齡若蟲時，由其中、後胸兩側長出翅芽，至第 5 齡時前翅之翅芽已超過第 4 腹節，但翅斑尚未明顯，易與具翅斑之短翅型成蟲區分。一般認為 3~4 齡若蟲之發生密度及寄主之營養狀況是決定其羽化後成蟲之翅型的最敏感時期；高密度、高溫度 (大於 30℃)、寄主植物含有高可溶性醣、低氮含量 (尤其是游離氨基酸) 均不利於若蟲發育為短翅型成蟲 (李等 1996；Iwanaga 1986; Kisimoto 1965)。

褐飛蝨的卵及若蟲的發育低溫臨界分別約為 12.5 及 11.5 ℃，有效積溫分別為 109.4 及 189.4 日度。卵發育所需時間約為若蟲發育期的一半，25~30℃為最適於發育溫度，在 30 ℃以上發育所需時間反而延長，在 35℃以上則無法生存 (Noda 1989)。在 25℃的恆溫下，完成一個世代約需時 31 天，發育為短翅型成蟲所需時間略較發育為長翅型成蟲為短。成

蟲壽命在 25~30℃下約 15~25 天，在 20℃以下可達 30 天以上。短翅型成蟲的壽命一般較長翅型者為長。成蟲羽化後經 2~4 天後開始交尾，第 5 天達到高峰，其後逐漸下降。成蟲一生可多次交尾，以提高卵的孵化率 (Takeda 1974)。

在臺灣，褐飛蝨於水稻上一年約可完成 8 個世代，無論在第一或第二期水稻都可遭受 3~4 個世代若蟲的危害 (圖十四) (鄭 1990)。長翅型成蟲於水稻移植後就陸續遷入稻田產卵繁衍，第一、二及三世代成蟲分別出現於水稻分蘗末期至幼穗分化期、孕穗末期至抽穗期及乳熟期至黃熟期；長翅型成蟲在兩期水稻上之第一、二及三世代所占比率，在第一期稻分別為 41.1、45.8 及 97.7%；在第二期稻分別為 38.3、26.6 及 69.8%，顯示各世代都有相當比例的長翅型成蟲可以往外遷移，尤其在稻株成熟，營養變差時增幅最大 (鄭 1990)。

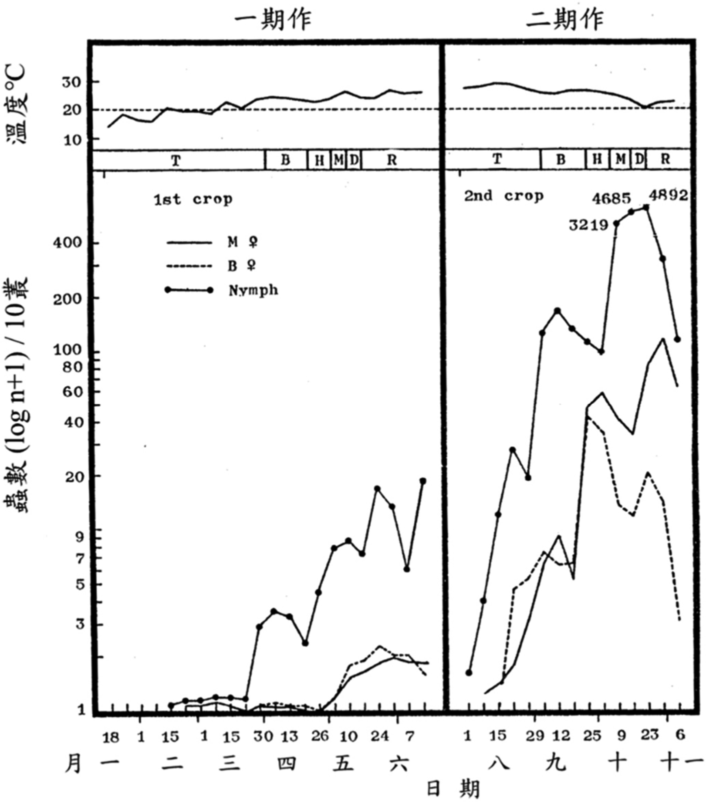
按 Wada (2014) 綜合以往的研究，比較分析東亞熱帶與溫帶地區褐飛蝨之生物學的差異，發現兩地區褐飛蝨族群動態有很大的不同，基本上是受到在水稻生育初期遷入蟲數及害蟲天敵的數量及活躍程度所致。在熱帶地區，遷入的蟲源主要來自鄰近的稻田，遷入量大；但在溫帶及亞熱帶地區，蟲源主要係由熱帶地區經長距離遷移侵入，蟲量極明顯地少於熱帶地區。其次是在熱帶地區，褐飛蝨的族群增長呈現多

樣性，取決於褐飛蝨與天敵相互作用的結果，但在溫帶地區褐飛蝨族群的增長呈現漸進方式，可能與天敵數量因受冬季之不良環境影響，而較為低下有關。再者，在熱帶地區褐飛蝨之族群中，長翅型成蟲所佔比例較在溫帶或亞熱帶者為高，長翅型成蟲通常具較長之產卵前期，並較具耐飢性，較熱帶地區者適於長距離遷移。

此外，在東亞溫帶及亞熱帶之褐飛蝨的生物小種組成及抗藥性的變化，在時間與空間之變化較為一致，但在熱帶地區則隨地區稍有差異。因此在引用文獻參考，必須將地區褐飛蝨生物學上的差異性加以考慮，以免在應用上有不合適性之產生。

由於褐飛蝨是一種近乎單食性害蟲，只能在水稻與若干野生稻種上取食、繁衍，在臺灣於水稻收穫後，其生存空間即遭受嚴重威脅，尤以二期稻，在 11~12 月收穫後適逢冬季低溫、乾燥的環境，極不適合水稻生長，即使有少數可供其取食的再生稻或自生禾苗，因發育情況甚差，難以維持其生存；另外在田間除有眾多天敵的環伺獵捕外，並需遭受第一期稻在 1 月下旬至 3 月上、中旬種植前，稻田需經翻土整地的摧殘，能順利越冬發育為成蟲而遷入第一期稻繁衍的機率甚低。因此，在第一期水稻少有遭受褐飛蝨經濟危害的機

率；然而在一期稻收割後，當臺灣地區遭遇鋒面、颱風、低壓環流、西南氣流或太平洋高壓環流的影響時，褐飛蝨與白背飛蝨的長翅型成蟲，無論在誘蟲燈或田間再生稻上之蟲數常有「突然增加」的現象出現，顯示該等飛蝨有由外地遷入的可能性。



圖十四、嘉義地區在第一期稻 (左圖) 與第二期稻 (右圖) 褐飛蝨族群之增長情況 (Cheng 1982)； T：分蘗期、B：孕穗期、H：抽穗期、M：乳熟期、D：糊熟期、R：黃熟期。

在雲嘉南地區，第二期作水稻多數於 7 月下旬至 8 月上旬移植，移植後長翅型褐飛蝨成蟲便陸續遷入稻田繁衍，移植後 2~3 週內為其遷入高峰期，遷入蟲之數量每年變異甚大 (參閱圖五)。第二期水稻褐飛蝨發生族群最高密度 (經常出現於第三世代若蟲期，亦即在水稻乳熟至糊熟期間) 與水稻移植後 3 週內遷入稻田內之蟲數 ($r^2 = 0.752$) 及 9~10 月溫度皆呈正相關，但與 9 月的大豪雨則呈負相關 ($r^2 = -0.804$) (鄭 1990)。臺灣中南部之第二期稻，從 1960 年代以後經常遭受褐飛蝨的嚴重危害，損失相當可觀；但在北部地區的水稻，因移植期較晚 (大多數在 8 月上、中旬)，已避過褐飛蝨遷入之高峰期，遷入蟲數較少，且自 9 月下旬至 10 月上旬開始即遭受東北季風之侵襲，風大且濕度較低，不利於褐飛蝨棲息繁衍，因此遭受褐飛蝨嚴重危害的機率相對較中、南部者為低 (蕭等 1985)。

在二期作水稻生長初期，褐飛蝨遷入稻田的密度通常很低，成蟲隨機分布，平均每一叢水稻多數在 0.05 隻左右，少有超過 0.1 隻者；然而因褐飛蝨具有很高的繁殖能力，其族群密度每世代成指數之倍數成長，至第三世代若蟲期，密度達到最高峰，此時若每一叢水稻平均達 50 隻以上，水稻就有可能被害導致局部枯萎；若每一叢水稻平均達 200 隻以

上，稻田裡的植株就可能全部被害枯萎。在嚴重發生時，第三世代每一叢水稻若蟲之密度往往可達 1,000 隻以上，田裡的水稻於短短幾天內就有可能全部被害枯萎死亡，俗稱「蝨燒」(圖十三 C) (鄭 1979)。綜觀褐飛蝨在臺灣稻田之族群增長的模式，比較類似溫帶地區，由極低密度的遷入個體開始，密度緩慢增加，通常需經過兩個世代的繁衍，於第三世代若蟲期造成明顯危害。此種族群增長模式與熱帶地區者有很大的差異；在熱帶地區，褐飛蝨絕大多數由臨近稻田遷入，侵入的蟲數通常很高，有些稻田在第二世代就可能遭受重大危害，但有些則可能在第三或第四世代才造成危害，甚或不會造成經濟危害，差異很大，可能受地區耕種水稻品種與天敵之豐度有關 (Wada 2014)。

褐飛蝨性喜高溫、潮濕環境，成、若蟲通常群集棲息於水稻植株基部，並以刺吸式口器自稻莖篩管吸食養液。Kawabe et al. (1980) 以雷射光切斷取食中之褐飛蝨的口針，讓篩管中之汁液自切斷之口針流出，分析流出液之碳水化合物為蔗糖，含量達 17% 左右。然而對褐飛蝨的取食量一般都使用其排泄之蜜露量來衡量 (Mochida 1972; Sogawa 1979)。蜜露含有 2~5%的醣類 (包括葡萄糖、果糖、蔗糖和一些寡糖) 與約占 1%的游離氨基酸 [以天門冬酸 (asparatic

acid)、天門冬素 (asparagine)、麩氨酸 (glutamic acid) 和麩氨 (glutamine) 含量最高，精胺酸 (arginine) 次之]。以 1%之氨基丙酸 (alanine) 或天門冬素 (asparagine)、天門冬酸 (aspartic acid) 及麩胺酸 (glutamic acid) 各自與 5%蔗糖混合之液體對褐飛蝨之取食具有強烈的刺激作用 (Sogawa 1970, 1977)。在蜜露中，鉀的含量平均亦高達 3 mg/μl。蜜露的排泄量，隨著蟲齡、水稻株齡及環境條件而異，個體間變異亦頗大。在若蟲期，若蟲的蜜露排泄量隨著蟲齡增長而增加，4 齡與 5 齡蟲之排泄量約占全若蟲期總排泄量之 90%左右，雌成蟲之排泄量約為 5 齡若蟲的 2.5 倍。一隻雌成蟲每天蜜露的排泄量約為 40~50 mg，因此在發生密度高時，稻株內含有的營養分於短短幾天內即可能被吸食殆盡，而導致枯萎死亡 (Huang et al. 2012; Mochida et al. 1978; Sogawa 1979)。三田 (1959) 比較田間被褐飛蝨危害植株與未被害株之碳水化合物，發現被害株無論是全碳水化合物、全糖、還原糖及非還原糖的成分都明顯的低於未被害植株，尤以被害產生蝨燒中心區的植株含量最低。除養液之掠取外，褐飛蝨在取食後殘留於維管束內 (以篩管為主) 之口針鞘可阻礙植株水分、微量元素及養液之輸送，影響植株基部與根部發育及活力，致使被害植株易於倒伏，影響稻穀之稔熟率、產量及米質至

距；此外褐飛蝨亦可媒介傳播水稻草狀矮化病 (grassy stunt) 與皺縮矮化病 (ragged stunt) 等病毒病害，該等病害在東北亞地區發生並不嚴重，但在東南亞地區則常成導致嚴重災害，使水稻遭受褐飛蝨危害之損失更加嚴重 (陳 1984；陳等 1979；Ling 1972)。同屬刺吸式口器之稻飛蝨類中，以褐飛蝨之取食量為最大，分別約為白背飛蝨與斑飛蝨的 1.7 與 2.3 倍 (黃 2013)，亦較葉蟬類，如偽黑尾葉蟬 (*Nephotettix cincticeps*) 之取食量為大；偽黑尾葉蟬可以由維管束之導管及篩管取食，由導管約占 60%，另 30%由篩管取食；一隻雌成蟲一天約可以消耗 1 mg 的醣與 4 μg 的氨基酸 (Ôya 1900)，極明顯地較褐飛蝨為低。

由於褐飛蝨蟲體微小，又喜好棲息於水稻植株基部，發生初期不易被發現，但因其增殖快速，且對藥劑易產生抗藥性及對抗蟲水稻品種容易產生有害生物小種 (virulent biotypes)，瓦解水稻之抗蟲性，顯示很難應用單一方法獲得有效防治。若能種植抗蟲性品種，並採用適當的耕作措施：例如於水稻收穫後盡速鏟除稻樁，水稻生長期中採用間歇性淺灌及曬田、適量的施用氮肥與矽肥，以及保護天敵：例如設置天敵越冬保護生態區或保護措施、水稻移植後 30~40 天內避免施用殺蟲劑，需要時以微生物殺蟲劑或圈養鴨隻啄食

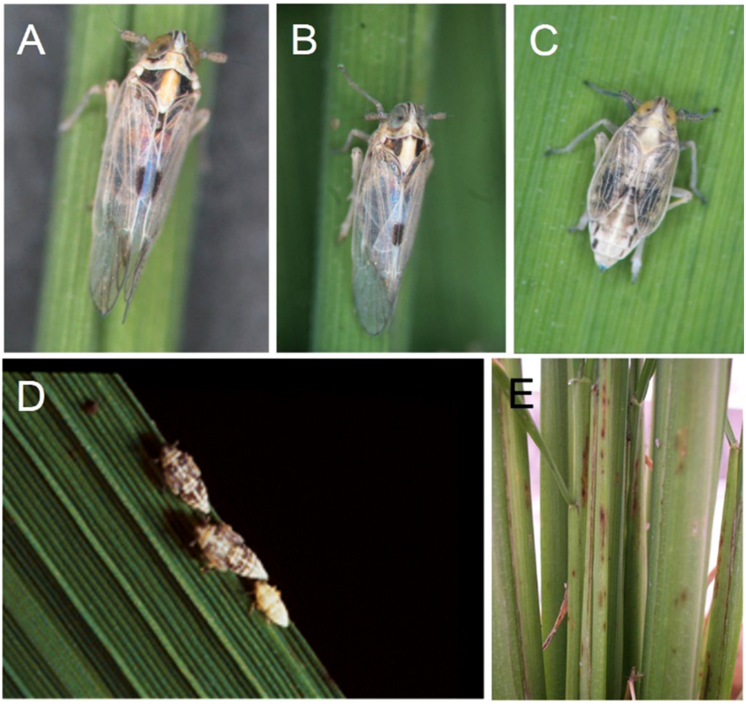
等防治措施為基礎，藉以抑制褐飛蝨之族群的增長於經濟危害水平 (抽穗前為 5~10 隻/叢，其後為 20 隻/叢左右) 之下，是為上策；若無法抑制時，再審慎選擇適當藥劑於水稻孕穗中、後期中 (適逢褐飛蝨發生第二世代若蟲期)，連施藥 1~2 次，可同時防治白背飛蝨、斑飛蝨、葉蟬類以及瘤野螟與二化螟等，可以大幅度地降低藥劑之使用 (鄭 2003)。

2. 白背飛蝨

白背飛蝨 (*Sogatella furcifera*) 屬同翅目 (Homoptera) 稻蝨科 (Delphacidae) 之一種小型昆蟲。與褐飛蝨一樣，成蟲有長翅型及短翅型兩型 (圖十五 A, B, C)。長翅型的成蟲體長 (含翅長)，雌蟲為 4.0~4.5 公釐，雄蟲為 3.3~4.0 公釐；而短翅型成蟲的體長約為長翅型成蟲之三分之二。頭頂後半部、前胸及中胸背板的中域為黃白色，複眼後方有一暗褐色斑，中胸背板之側區亦為暗褐色；前翅狹長，稍透明略帶淡黃褐色，後緣近中央處具有一個黑褐色的翅斑，可供與同一屬的其他種的飛蝨區分。白背飛蝨雖可在多種禾本科植物上取食，但仍以水稻為其主要寄主 (Okada 1977)。

白背飛蝨與褐飛蝨相同只能在熱帶地區周年繁殖，耐寒性差，亦不具休眠性，但其分布範圍甚廣，涵蓋巴基斯坦以

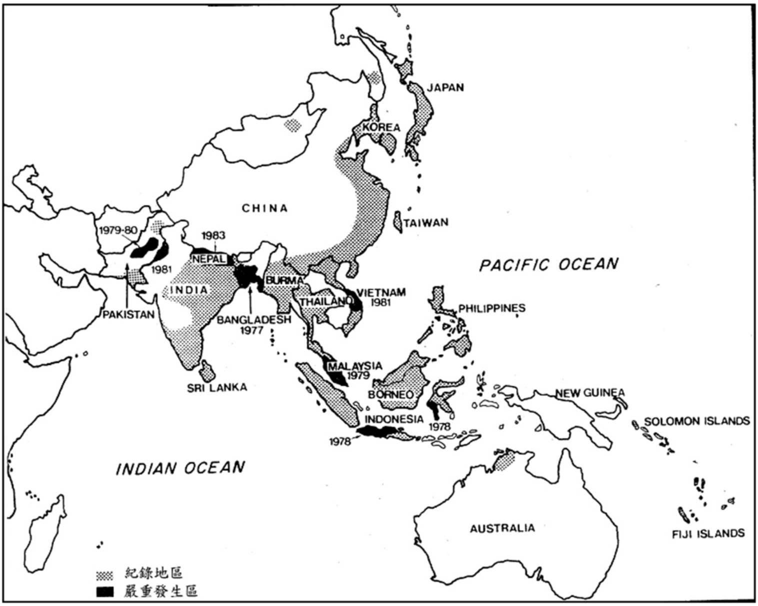
東、日本至斐濟島以西、蒙古至黑龍江以南、澳大利亞以北之亞太地區 (圖十六)，分布範圍較褐飛蝨為廣 (Khan & Saxena 1985; Okada 1977)。



圖十五、白背飛蝨長翅型雄成蟲 (A)、雌成蟲(B)、短翅型成蟲 (C)、若蟲 (D) 及在稻莖上之產卵痕 (E)。

白背飛蝨之成蟲通常活動於稻株之中上部位，喜好陽光。卵粒大多產在第二葉鞘肥厚部位之組織內，略呈香蕉型，卵帽近三角型，數粒至十餘粒成列產於一處，但卵帽並不相連結，產卵痕 (圖十五 E) 較褐飛蝨者為大，在卵塊周

邊常具褐斑 (寒川 1991；渡邊與寒川 1994)。每一雌蟲可產卵百餘粒至 300 餘粒，隨其取食水稻之生長期、發育生長狀況及溫度等環境因素而有很大變異 (末永 1963)。卵的發育

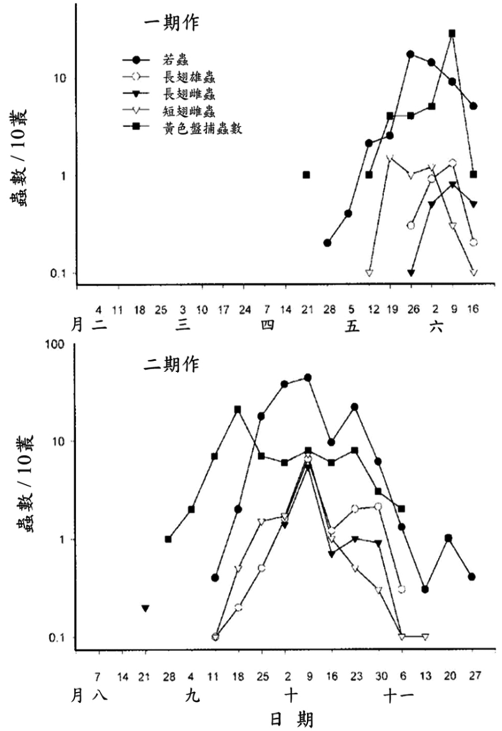


圖十六、白背飛蝨之主要分布地區圖。黑色：表示曾嚴重發生危害地區；灰色：表示發生紀綠地區。(Mochida et al. 1982)

臨界低溫約為 10.4℃，發育有效積溫在 118 日度左右；卵的發育期在溫度 15, 20, 25, 28 及 30℃時分別為 23.7, 11.5, 7.5, 6.4 及 5.8 天。若蟲有 5 個齡期，體灰白色，胸背具有雲狀斑紋 (圖十五 D)。若蟲發育臨界低溫約為 10.8℃，發育有效積溫為 182 日度左右；在上列 5 個恆溫中以 3~4 葉之秧苗飼育，

若蟲發育所需日數分別為 52.8, 26.9, 15.4, 12.0 及 11.2 天；成蟲平均壽命分別為 24.0, 18.5, 17.4, 19.4 及 12 天，在該等溫度下，每一雌蟲平均可產卵分別為 24.6, 80.3, 128.9, 324.3 及 107.3 粒。發育適溫範圍在 25~28℃，20℃以下及 30℃以上不利於其發育與繁殖 (鄭未發表資料)。

按臺灣中部地區之年平均溫度，和白背飛蝨完成一個世代所需之有效積溫計算，白背飛蝨在此地區一年應可完成 9 至 10 個世代 (圖十七)；但依田間調查，從 12 月至 3 月，很難發現白背飛蝨成蟲或若蟲的蹤跡，通常在 4~5 月間才開始可發現少數成、若蟲，族群密度最高出現於 5 月下



圖十七、嘉義地區在第一期稻 (上圖) 與第二期稻 (下圖) 白背飛蝨族群之增長情況。(鄭與黃 2004)

旬至 6 月上旬。由 1983 至 2002 年間在 56 塊完全無使用農藥之害蟲偵察田中，除於 1983 及 2000 年白背飛蝨之發生密度平均每叢水稻可達 1 隻以上之外，其他年度平均每叢稻大多在 1 隻以下。第一期水稻在 6 月中、下旬收穫後，白背飛蝨之成、若蟲於再生稻上之族群密度通常很低，但偶爾長翅型成蟲會有突然大量增加之現象發生，再生稻生長得越茂盛的稻田，白背飛蝨成蟲之族群密度越高，但經數日後即逐漸遷出，又回復低密度狀態，顯示白背飛蝨亦有受氣流之影響由境外遷入之現象 (鄭與黃 2004)。

在第二期水稻，白背飛蝨長翅型成蟲於水稻插秧後就陸續遷入稻田，插秧後 2~3 週之間為其遷入高峰，其後約每隔 25~28 天就可完成一個世代。成蟲高峰分別出現於 8 月中、下旬至 9 月上旬，9 月中、下旬至 10 月上、中旬，及 10 月下旬至 11 月上旬，隨水稻插秧日期而異 (圖十七)。族群最高峰 (每叢稻平均逾 30~50 隻以上) 可能出現在侵入後之第一或第二世代若蟲期；遷入之蟲數較高的情況，如平均每一叢稻有成蟲 1~2 隻以上時，族群高峰可能出現在第一世代若蟲期，危害分櫱期水稻；遷入蟲數較低時，則族群高峰絕大多數出現於第二世代若蟲期，危害孕穗期水稻。無論族群高峰出現在成蟲遷入後之第一或第二世代若蟲期，在高峰世代

若蟲發育為成蟲時就大量往外遷出；第三世代若蟲出現於水稻抽穗至乳熟期，但每叢稻的若蟲平均密度最高亦不會超過 20 隻，待變成蟲時，即陸續遷出稻田，顯示水稻抽穗後就不再是白背飛蝨的喜好棲息與取食對象 (鄭與黃 2004)。

白背飛蝨喜好棲息、取食及產卵於分蘖期至孕穗期間的水稻，在抽穗後水稻上甚少產卵。高溫、多日照有利其族群增殖，但白背飛蝨對族群的擁擠容忍度遠不如褐飛蝨，族群密度增高後，若蟲之發育期延長，存活率下降，成蟲產卵前期增長，產卵數及卵受精率下降，致使次世代族群密度降低 (末永 1963)。在臺灣於 1990 年以前，白背飛蝨在二期水稻之發生密度都低於褐飛蝨，但在 1990 年代後期開始其族群密度大幅增加，在水稻分蘖期至孕穗期間之發生密度往往高於褐飛蝨，但水稻抽穗後則褐飛蝨發生密度常較白背飛蝨為高。褐飛蝨對族群擁擠容忍度甚高，可能是其在水稻生育後期還能增殖維持高密度的原因。因此，白背飛蝨的遷入數量雖然已經超越褐飛蝨，但迄至目前為止，在臺灣除種植秈稻地區外，在稉稻上尚少發現有單獨遭受白背飛蝨嚴重危害的情事發生，這可能與臺灣主要種植稉稻，對白背飛蝨具有若干程度的殺卵作用有關 (寒川 2003)。

白背飛蝨對水稻的危害可分兩方面，其一為成蟲產卵於

葉鞘脊部或葉片中脈組織細胞間隙 (intercellular air spaces) 中，在遭受產卵有過敏性反應之水稻品種 (大多屬於粳稻型品種)，被產卵部位可能呈現水浸狀褐化斑痕，該褐化斑痕內之類似水分的物質，經萃取、分析鑑定為富含安息香酸甲苯 (benzyl benzoate) 物質，對卵內胚胎之發育具有抑制作用，而使卵不能孵化，換句話說具有殺卵作用 (Seino et al. 1996; Suzuki et al. 1996)。然而當產卵部位多時可導致整片葉鞘褐變，可能致使葉片枯死，影響被害水稻之光合作用 (寒川 1991)。但大多數秈稻品種或雜交稻品種水稻被產卵並不產生水浸狀褐斑，極適於白背飛蝨之繁殖，此可能為秈稻及雜交稻較粳稻更易遭受白背飛蝨的危害的原因。

白背飛蝨與褐飛蝨同樣是利用刺吸式口器吸取稻株維管束之養分，取食量受水稻品種、植株含氮量，及是否含有白背飛蝨取食刺激物質而定；長翅型雌成蟲在不同水稻品種取食每日排泄蜜露量可由 6.9~14.8 mg (寒川 2003)，以蜜露分泌量計算，其成蟲與若蟲之取食量分別約為褐飛蝨的 53.2 與 73.8% (黃 2013)。水稻被害程度與白背飛蝨的發生密度與水稻被害時期有關；在水稻插秧後 13 天受危害分蘗期水稻，於成蟲出現時測量株高與分蘗數，結果顯示接蟲處理區無論株高或分蘗數均明顯地較無接蟲區者為少，但差異在分蘗後

期就漸不明顯，稻穀產量，也無明顯差異；然而若以同樣處理方式在水稻插秧後 31 天接入雌成蟲，若蟲主要危害幼穗分化至孕穗末期水稻，接蟲危害區的水稻平均每穗的小穗數與稻穀產量，都明顯地較無接蟲之對照區為少，顯示稻穗形成期中遭受白背飛蝨危害對稻穀產量影響頗大。在另一試驗，於水稻分櫱後期至幼穗形成期中，以每一叢水稻接入白背飛蝨 1 齡若蟲 0 至 200 隻，在接蟲後 11~12 天調查，發現水稻乾物重與上位葉片面積均隨白背飛蝨蟲體之乾物重的增加而下降，蟲體乾物重每增加 1 mg，水稻乾物重下降 32.3 mg。水稻乾物重之下降除因營養液被掠奪外，亦與上位葉面積縮小影響光合成能力，以及其合成產物的轉移受到阻礙等因素有關 (渡邊與寒川 1994；Noda 1986)。

除直接危害外，白背飛蝨於 2001 年在中國廣東被發現可持續性地 (persistent) 媒介傳播南方水稻黑條矮化病 (southern rice black streak dwarf virus) (Zhang et al. 2008; Zhou et al. 2008)，除華南地區外，該種新病害亦已於越南及日本被發現 (Sakai 2012; Thanh et al. 2012)。

在田間，白背飛蝨常與褐飛蝨混合發生危害，白背飛蝨之族群高峰通常略早褐飛蝨出現，但白背飛蝨大都棲息於植株較高的部位，而褐飛蝨則棲息於植株基部，在生態區位

上，兩種飛蝨不可能有很大的競爭，但試驗顯示，水稻經白背飛蝨或褐飛蝨與白背飛蝨聯合取食危害之後，可使其後取食之褐飛蝨或白背飛蝨若蟲的存活率下降、發育期延長、以及長翅型成蟲的比率增加，增加的幅度較因同種之間因密度競爭的結果為大 (Matsumura et al. 2003)。此項結果表顯示，上述兩種稻飛蝨的交互作用，除養液之被掠奪外，經取食作用改變寄主植物的生理而產生的副作用亦有關係 (Matumura et al. 2003)。

Satoh et al. (2009) 報告水稻被白背飛蝨危害後可誘發植株對稻熱病及白葉枯病產生抵抗性，這種抵抗性並非是由機械傷害所誘發，而是由白背飛蝨取食所引起之一種系統性的反應。白背飛蝨危害能誘導病原感應基因 (*PBZ1*, *POX22.3, OsPR1a*, *OsPrb1* 及 *OsWRKY70*) 的產生，但褐飛蝨的危害則不能。這些基因在正常情況下是在接種稻熱病菌 (*Magnaporthe grisea*) 或水稻白葉枯病菌 (*Xanthimonas oryzae* pv. *oryzae*) 後誘發，因此推測此等基因是水稻經白背飛蝨危害後所誘導產生，可增強對其後遭受病原菌攻擊時，獲得快速與有效的反應；田間試驗亦證明稻熱病的發生程度與白背飛蝨的發生量成負相關 (佐藤等 2005；Kanno & Fujita 2003; Kanno et al. 2005)。

針對白背飛蝨的危害，多數農民多以藥劑於防治褐飛蝨時一併防除。但目前在臺灣植物保護手冊上，登記為防治白背飛蝨的藥劑只有加保扶一種 (王等 2012)，推薦於防治褐飛蝨的藥劑雖多達數十種，有哪幾種可同時對白背飛蝨亦具防治效果，有待確認。另外，臨近國家白背飛蝨的抗藥性文獻亦需要積極蒐集，藉以了解白背飛蝨已產生抗藥性的地區及藥劑種類，如在越南、中國、日本及菲律賓的白背飛蝨對芬普尼都已產生很高的抗性，臺灣顯然亦不能幸免 (Matsumura et al. 2009)。

在田間，白背飛蝨族群高峰期可能出現於遷入後之第一或第二世代若蟲期，遭受白背飛蝨第一世代若蟲的危害，因在水稻分蘗期，被害後之補償能力甚強，通常對水稻的生育及產量不至於產生影響；對第二世代若蟲的防治，可以併同褐飛蝨一起防治。此外選用同時對褐飛蝨與白背飛蝨都具抵抗性的水稻品種，如台稉 16 號、台農 84 號及台中秈 16 號等，或避免過量施用氮肥，以及避免太早或太遲插秧，皆可降低遭受白背飛蝨嚴重危害的風險 (鄭 2009)。

3. 斑飛蝨

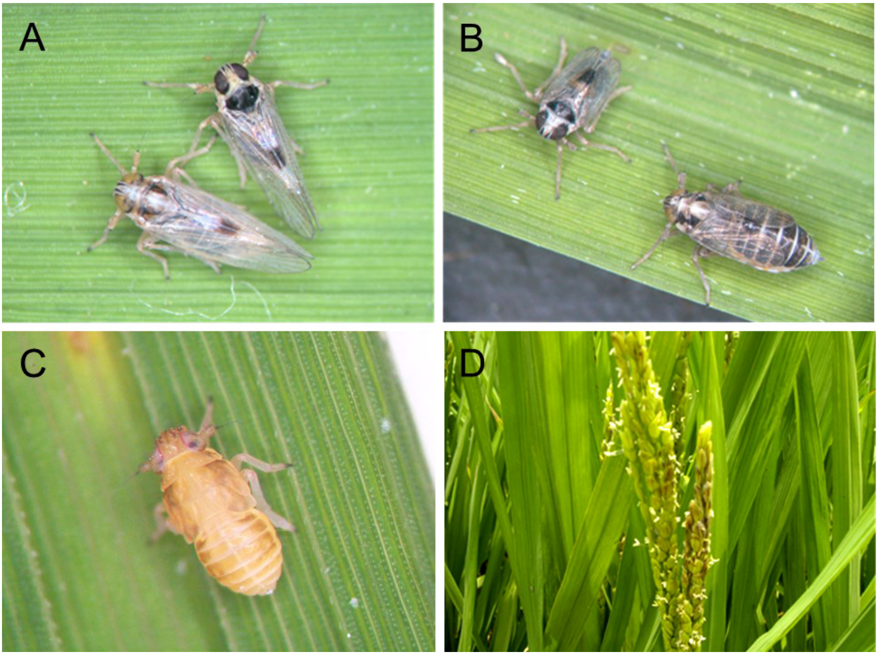
斑飛蝨 (*Laodelphax striatella*) 與上述兩種稻飛蝨同屬

於同翅目、稻蝨科的小型昆蟲，廣泛地分布於歐、亞大陸之溫帶及亞熱帶地區，主要危害水稻、大麥、小麥、玉米、粟、高粱及甘蔗等作物，並可在野生稻、稗草、看麥娘、李氏禾、狗尾草、雙穗雀稗、蟋蟀草及千金子等禾本科雜草上取食生存 (巫與胡 1987；屈 1982；鄭 1986；Dale 1994)。

斑飛蝨成蟲有長翅及短翅兩型，長翅型雄蟲與雌蟲之體長分別為 3.5 及 4 公釐左右。體黃褐至黑褐色，頭頂略向前突出，複眼與單眼為黑色，顏面縱溝為黑色，前翅淡黃半透明，後緣近中央有黑褐色斑。雄蟲腹部較細瘦，色較深；中胸小楯片中央為黑色，後端兩側淡黃。雌蟲腹部較肥大，色較淡；中胸小楯片中央為污黃色，兩側灰黑色，邊緣為深黃；胸足黃褐色，後足脛節外側有刺，後端有鐮刀狀之距。短翅型雄蟲長約 2.1 公釐，雌 2.8 公釐，翅膀只達腹部三分之二處，其他特徵同長翅型成蟲 (圖十八 A, B) (巫與胡 1987)。

斑飛蝨成蟲通常活動於水稻植株之中、上部位取食危害。卵產於稻株下部第一、二葉鞘組織內，在幼小植株上亦有產於莖腔中，水稻抽穗後並可產於穗頸下之莖腔內或葉片基部的中脈組織內，每卵塊含卵 2, 3 粒至 10 餘粒不等；每雌蟲一生產卵數隨溫度變化頗大，在 10, 15, 20, 25 及 30 ℃以秧苗飼育之產卵數分別為 3.8, 16.6, 46.3, 58.3 及 52.6 粒，

在 25℃最高產卵量可達 562 粒。卵期在 15, 20, 25 及 30℃恆溫下分別歷時 28, 12, 8 及 6 天左右；若蟲在上述四種恆溫下分別歷時約 45, 22, 15 及 13 天。卵與若蟲之發育臨界低溫分別為 10.9 及 8.8℃，有效積溫分別為 115.5 與 264 日度。若

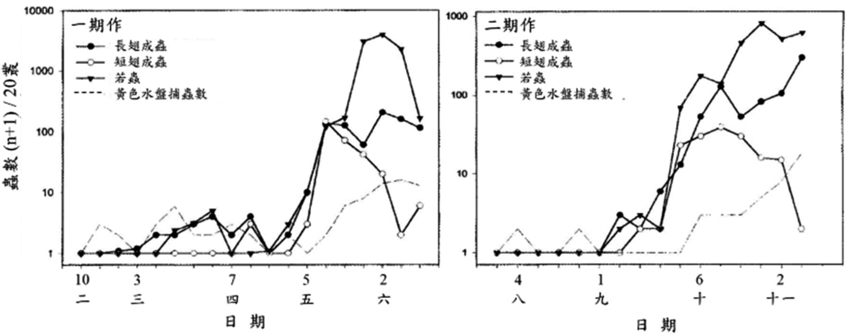


圖十八、斑飛蝨長翅型雌成蟲 (A 左)、雄成蟲 (A 右)、短翅型雄成蟲 (B 上)、雌成蟲 (B 下)、三齡若蟲 (C) 及被害稻穗狀 (D)。

蟲可分 5 個齡期，體呈淡黃至黃褐色，在 3 齡蟲後胸背及腹背三至七節各有一對灰色斑紋 (圖十八 C)。在水稻秧苗期，成蟲與若蟲常棲息於植株中下部，但隨植株之成長與老化而逐漸遷往稻株之中上部位取食，抽穗後則群集於穗部危害幼

嫩穀粒，影響穀粒之發育充實。成蟲產卵前期在 10℃約為 23 天，15℃為 12 天，20~30℃為 2~4 天。成蟲壽命在 10℃平均可達 40 天，15℃為 28.4 天，20, 25 及 30℃分別為 24.7, 17.7 及 16.6 天。除水稻外，斑飛蝨亦可在小麥、高粱上生存繁殖，在玉米上除在 3~4 葉生長期以前無法存活外，在 10 葉生長期以上之老葉片上則與在秧苗上飼育者無異 (鄭 1986)。

斑飛蝨在嘉南地區一年可發生 8~9 世代 (圖十九)，利用黃色水盤偵測，在第一期稻於水稻移植後，就可發現斑飛蝨成蟲遷入，於 12 月種植的水稻田成蟲遷入期最長，遷入的蟲數也最高，元月種植的普植稻次之，2 月種植者最低 (鄭 2003)。以普植稻為例，第一、二及三世代成蟲分別出現於 4 月上、中旬，5 月上、中旬及 6 月上、中旬 (相當於水稻抽穗至糊熟期間)，第四代成蟲則出現於再生稻上；第二期作之普植稻於 7 月下旬種植，種植後就可偵測到斑飛蝨成蟲遷入，遷入高峰出現於移植後 2~3 週，其第一、二、三及四世成蟲分別出現於 9 月下旬、10 月中旬、11 月中旬及水稻收穫後之 12 月上、中旬，族群高峰出現於第三世代若蟲期間。斑飛蝨可在再生稻、小麥、玉米、高粱、粟等作物或其他禾本科雜草上越冬 (鄭 2003)。



圖十九、嘉義地區在第一期稻 (左圖) 及第二期稻 (右圖) 斑飛蝨族群之增長情況。(鄭 2003)

1985 至 2002 年，於嘉義縣溪口鄉設立無藥劑處理之蟲害觀察稻田，分析田間及誘捕蟲器材所捕獲成蟲之調查資料，顯示每世代斑飛蝨成蟲的長翅型比例都可達 65%以上，表示每世代新羽化成蟲都可能有部份從稻田遷出；無論在第一或第二期稻，其族群高峰都出現於水稻抽穗後至糊熟期間。影響族群豐度的重要因素，在第一期稻為與前年 12 月黃色水盤的捕蟲數 (蟲源) ($r^2 = 0.53$, $p<0.05$) 與 12 月至 3 月之平均氣溫 ($r^2 = -0.69$, $p<0.01$) 之關係最為密切；第二期稻的發生密度則與水稻移植後 30 天黃色水盤誘捕蟲數 ($r^2 = 0.45$, $p<0.1$) 呈正相關，但與 8 月之平均溫度 ($r^2 = 0.49$, $p<0.05$) 和 9 月中旬至 10 月中旬之颱風驟雨的天數呈明顯的負相關 (鄭 2003)

斑飛蝨與褐飛蝨及白背飛蝨相同，都是以刺吸式口器自

水稻維管束篩管取食養液，水稻抽穗後，成蟲與若蟲糜集於劍葉及幼穗上危害，由蜜露分泌量推算，成蟲及若蟲的取食量分別為褐飛蝨之成、若蟲的 37.1 與 60.7% (黃 2013)。水稻被害以抽穗後較為明顯，被害穀粒外殼污黃、乾扁 (圖十八 D)，影響稻穀之稔實率及千粒重，但其直接危害尚無造成水稻植株枯萎的現象。除直接取食危害外，斑飛蝨並可持續性地媒介傳播縞葉枯病 (stripe virus) 及水稻黑條矮化病毒 (rice black streaked dwarf virus) (陳等 1979；陳與柯 1989；Ling 1972)，媒介傳播病毒病害對水稻生產的影響遠大於其直接危害。從以往經驗顯示，在稻麥輪作地區或期作混雜區，斑飛蝨與由其媒介傳播之病毒病害的發生程度尤為嚴重 (鄭與朱 1999；Cheng 2009)。

由於斑飛蝨的直接危害並不如褐飛蝨或白背飛蝨那樣的嚴重，而且在田間的族群消長趨勢與褐飛蝨略同，通常可以在施藥防治褐飛蝨時一併防治。此外由於斑飛蝨在第二期稻收穫後，可以在再生稻、小麥、高粱、玉米及粟上取食繁殖，及早翻土去除再生稻，及做好在小麥等其他寄主作物上之斑飛蝨的防治工作，應可明顯的降低遷入第一期稻田的蟲數。在病毒病害發生嚴重地區可使用育苗箱藥劑處理方法，或栽植抵抗斑飛蝨水稻品種，是為有效降低斑飛蝨的族群增

長以及縞葉枯病的方法。大多數抵抗褐飛蝨的水稻品種，如台稉 16 號、台農 84 號、台中秈 10 號、台農秈 20 及 22 號等都為良質米及抵抗斑飛蝨特性之品種 (鄭 2003)。

4. 瘤野螟

瘤野螟 (*Cnaphalocrocis medinalis*) 屬鱗翅目 (Lepidoptera) 螟蛾科 (Pyralidae) 昆蟲，因其幼蟲可以縱捲葉片並藏匿其中取食葉片表皮組織，故又稱為水稻縱捲葉蟲。瘤野螟分布於亞太地區，涵蓋日本以西、馬達加斯加以東、中國黑龍江與蒙古以南、澳大利亞以北之範圍內。瘤野螟除可危害水稻外尚可危害多種禾本科植物，包括小麥、大麥、燕麥、玉米、高粱、意苡、粟等作物，以及李氏禾、稗草、雀稗和馬唐等禾本科雜草 (朱等 1983；屈 1982；Dale 1994)。

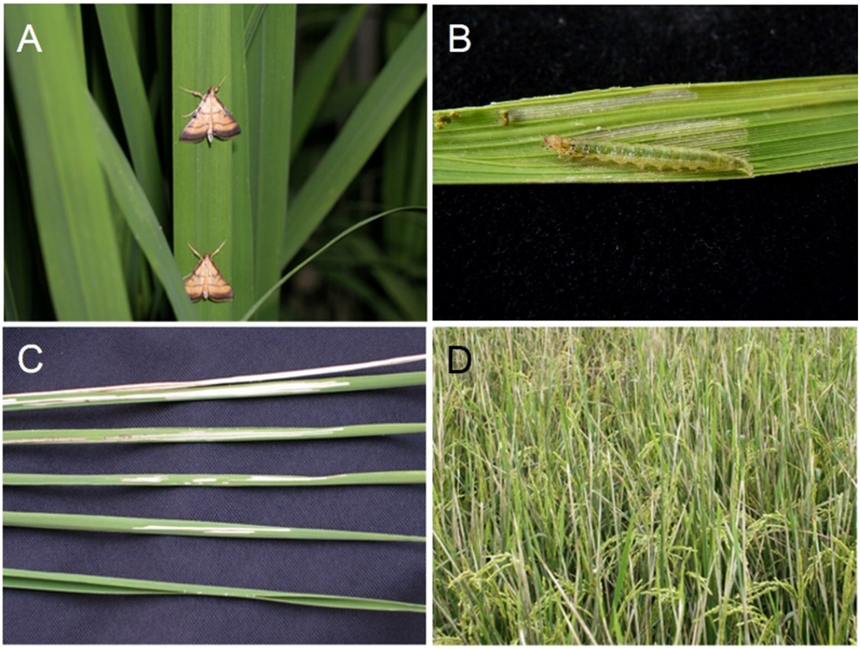
成蟲體與翅膀都呈淡黃褐色，前翅前緣與外緣有暗褐色粗帶，翅面另有細橫線三條，前、後兩橫線較長且與後翅表面之兩橫線銜接，中橫線較短，僅有前橫線四分之一。前足脛節末端有纓狀毛塊。體長 7~9 公釐。雄蟲體型略小，體色較濃，前翅中橫線前端有黑褐色的簇毛塊，停息時尾部常翹起 (圖二十 A)。成蟲在白天靜棲於寄主植物之葉片下或植株

的中下部位，受驚擾時做短距離飛行；入夜後活動頻繁，趨光性強，尤對白、綠或紫色光為最。成蟲通常於羽化後 2 至 3 天開始交尾，一生可多次交尾，交尾多發生於黎明前 2~3 小時 (鄭 1987)。產卵前期為 3~5 天，成蟲壽命在溫度 22~28℃之間約為兩週。卵大多產於新成熟之葉片上，3~4 粒沿著葉脈產成一排，每一雌蟲可產卵 100 餘粒至 300 餘粒，隨溫度及寄主植物之株齡及營養狀況而異，嫩、綠植株較可吸引成蟲前往產卵。卵呈橢圓形、扁平，表面有微細網紋，長約 0.7 公釐，寬約 0.4 公釐。初產的卵淡黃透明，後漸變淡黃色。卵的發育低溫臨界約為 12℃，卵期在 5 至 10 月之間約為 3~4 天，11 月至次年 4 月之間為 8~15 天，發育有效積溫約為 60.2 日度 (深町 1980；鄭 1987)。

初孵化之幼蟲體長 1.2~2 公釐，頭黑色，胸、腹部透明，取食後變黃綠色，食痕呈細白線，不結蟲苞。2~5 齡幼蟲，前胸背板之前緣中央有兩個淡褐色圓斑，兩側各有一弧形紋，後緣中央有兩條向前延伸之斑紋，中、後胸背部有毛片紋，成熟幼蟲體長 14~19 公釐 (圖二十 B)。幼蟲發育臨界低溫約 11℃，幼蟲期在 5 至 10 月間約 17~20 天，3~4 月與 11 月為 26~28 天，在冬季約需 50 天，發育有效積溫為 240 日度左右。幼蟲自第 2 齡蟲開始就能將稻葉縱捲，藏匿捲葉中

啃食葉片表皮組織，殘留不規則長條狀白色的食痕 (圖二十C)，每一幼蟲可捲 3~5 片稻葉，多者可達 5~6 片，隨葉片柔嫩程度而定，較嫩綠者蟲苞較長，幼蟲轉換葉數較少；在老熟葉片上，組織粗硬，蟲苞較短，轉換葉片危害較為頻繁。整個幼蟲發育期之取食葉片面積約為 30~35 平方公分，其中 4 至 5 齡幼蟲的取食面積占 90%左右。幼蟲發生密度高時，整塊稻田葉片被危害成蒼白一片 (圖二十 D)，嚴重影響稻株光合作用。老熟幼蟲經 1~2 天之前蛹期，然後可在鬆弛的葉鞘內側、枯黃的捲葉內、被捲食之蟲苞的下緣、或在稻株間吐絲結薄繭化蛹。在 20、25 及 30℃的恆溫下，蛹期分別歷時 14.5、7.0 及 5.4 天，發育低溫臨界約 14℃，有效積溫為 84 日度左右。成蟲一般於上半夜羽化，而於下半夜黎明前交尾 (陳與王 1978；陳等 1992；鄭 1987；Wada & Kobayashi 1991)。

瘤野螟成蟲在形態上並無類似褐飛蝨有長、短翅型之分。一般情況下，成蟲飛行能力在羽化後第 3 天最強，在第 4 天時卵巢發育已達第 3 級 (卵巢基部已含有成熟卵 5~10 粒)，飛行能力銳減，不能再行長距離遷移。在室內飛行磨上吊飛試驗，由不同地區採集的瘤野螟成蟲，個體間飛行時數差異頗大，部分個體可連續飛行 2 小時以上，此部分的個體

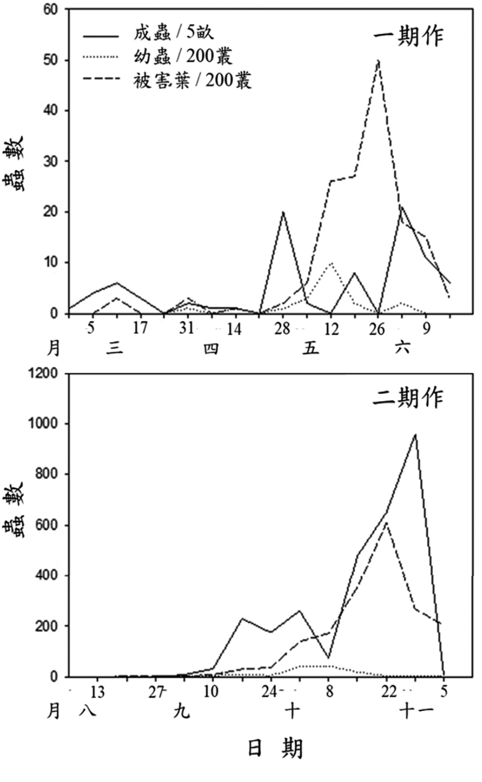


圖二十、瘤野螟成蟲 (A)、幼蟲 (B)、被害葉 (C) 及水稻嚴重被害情況 (D)。

是屬於長飛型或「遷飛型」；另一部份雖然在飛行中途稍有停頓，但累計飛行時間接近 2 小時，是可能飛越 500~1,000 公尺之邊界層 (boundary layer)，屬於中間型或為「潛在遷飛型」；還有一部份只能作短暫斷斷續續的飛行，在 2 小時中累計飛行時間不到 20 分鐘者，是屬於短飛型或「留居型」。一般而言，在遷出世代的成蟲飛行時間最長，遷入後所繁殖次一世代之成蟲次之，而遷入世代之成蟲因所含之卵子大部已成熟，飛行能力最弱；此外在較高緯度不能越冬地區所捕

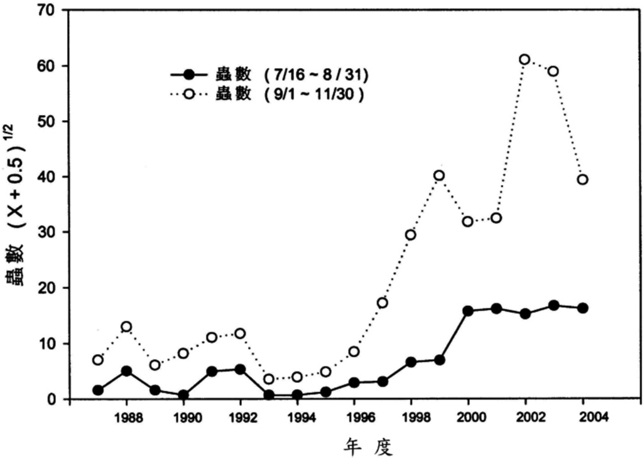
得之瘤野螟成蟲，其飛行能力較在低緯度地區所捕獲者為強，且產卵量及存活率亦較高 (張 1980；張與吳 1988；Zhang 1991)。似上述個體間飛行能力之差異，可能與飛行筋多型性 (flight muscles polymorphism) 有關 (藤崎 1994；Zhang 1991)；然而一般認為遷出世代成蟲的卵巢，因受青春荷爾蒙之抑制而延展其發育以便於遷移飛行，顯示遷飛與卵巢發育具有相互牽制的作用 (張 1980；Zhang 1991)。

在臺灣中南部地區，瘤野螟每年約可繁衍 8 個世代，在第一與第二期稻期中，每一期水稻都可遭受 3 個世代的幼蟲危害，且都在水稻孕穗後期至乳熟期之間，遭受第 2 個世代高族群密度幼蟲的危害最為嚴重 (圖二



圖二十一、1987 年瘤野螟成蟲、幼蟲及被害葉片在嘉義第一期稻 (上圖) 與第二期稻田之消長。(鄭與吳 1999)

十一)，對稻穀產量的影響最大；第二期稻之瘤野螟的發生密度及危害損失遠高於第一期稻。分析 1986 至 2004 年間在 7~8 月遷入時期，誘蟲燈捕獲成蟲數與第二期稻之第一及第二世代成蟲之總捕獲蟲數具明顯相關，$r^2 = 0.8913$ ($p<0.01$) (圖二十二)，而瘤野螟之第一及第二世代成蟲在誘蟲燈之捕獲蟲數與第二期稻之被害程度呈密切關係，r^2 分別為 0.729 與 0.883 ($p<0.01$)。直播稻、晚植稻，以及處於避風地區之稻田的被害程度通常較早植或普植稻為嚴重 (鄭與吳 1999)。



圖二十二、1987 至 2004 年第二期稻瘤野螟成蟲在 7～8 月遷入期誘蟲燈捕獲蟲數與其後發生之第一及第二世代捕獲蟲數之關係 (r^2=0.8913, p<0.01)。

據日本田間調查顯示，在水稻抽穗期平均每一叢稻株的上位三片葉遭受危害達到 20%左右 (約 10~12 片葉/叢)，就

可導致 5%左右的產量損失，但在分蘖期及糊熟期後遭受危害，被害葉率高達 60%對產量也不致有明顯的影響 (Miyashita 1985)。由於穀粒內容物，主要是由水稻在繁殖生長期間由植株最上位之 3 片葉的光合作用累積的產物所充實，其中頂葉 (劍葉) 被害的影響最大，但其受損功能絕大部分可由下位葉和倒數第 3 葉增加光合成強度而獲得補償。另一試驗調查秈稻被害結果顯示，頂葉 50%被害對水稻生產亦無明顯的影響 (金 1992)。上述結果之差異，是否表示秈、稉稻對瘤野螟危害的反應有差異性，或是受到供試驗水稻品種自身特性的影響，有待釐清。

瘤野螟成蟲喜好潮濕環境棲息，在嫩、綠葉片上產卵。避免水稻密植及過量施用氮肥或太晚種植，是為降低被害的最基本方法。此外無論在瘤野螟的卵、幼蟲及蛹都可能遭受多種捕食性或寄生性天敵的寄生或獵食，若能避免在水稻營養生長期使用廣效性殺蟲劑而毒殺天敵，以及過量施用氮肥使水稻植株過於茂盛、柔嫩，則在水稻繁殖生長期間之被害葉率，一般很難達到 20%的水平。在東南亞地區發現在水稻分蘖期間若遭受瘤野螟的危害，因植株再生補償能力很強，並不影響水稻的產量，建議在水稻分蘖期無需施藥防治，以免傷害害蟲天敵的生存與族群的成長 (Heong 1993)。

在嘉南地區，無論在第一或第二期稻瘤野螟的危害主要發生於第二世代之幼蟲期 (一般出現於孕穗後期至乳熟期)，因此若在第一世代成蟲出現期 (一般在水稻幼穗分化期前後)，每平方公尺有雌成蟲達 1 隻以上時，就需注意第二世代幼蟲危害情況，若每叢稻有 3 齡以上的幼蟲 2~3 隻時，以使用蘇力菌或幼蟲生長調節劑防治為宜 (鄭與吳 1999)。

水稻抵抗瘤野螟危害尚無具體育種成果，但從 IRRI 水稻種原庫的品種篩選，已發現若干品種顯示具中等抗性，其中源自臺灣的水稻品種白米粉 (Bir-me-fen) 與高雄秈育 16 號 (Kaohsiung sen yu 16)，源自印度的 TKM6, Ptb33 及 GEB24 等，都具有中等以上的抗性，可以加以進一步研究，應用於抗蟲育種的親本 (Heinrichs et al. 1985)。

5. 粟夜盜

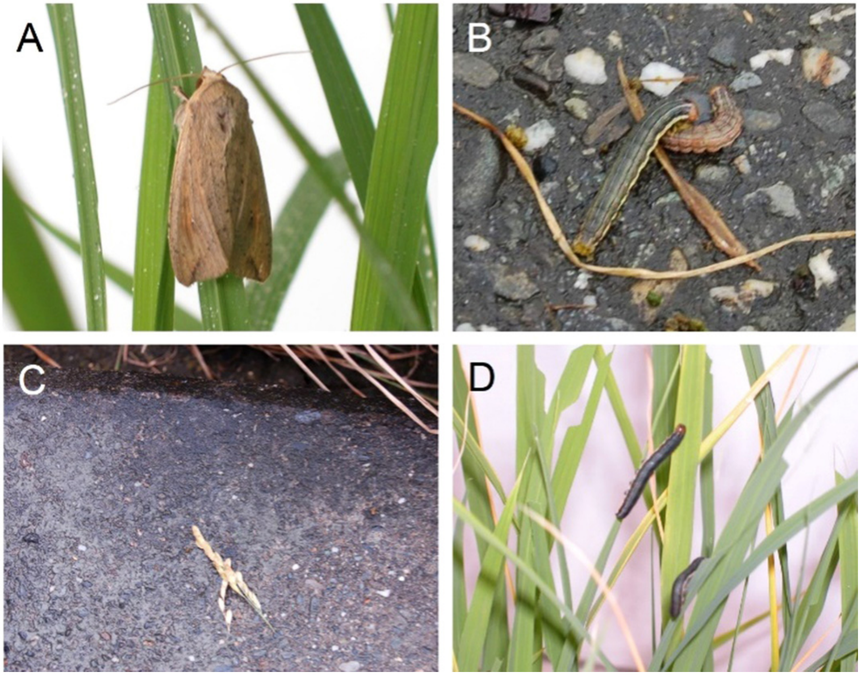
粟夜盜 (*Mythimna separata* Walker)，臺灣文獻曾使用 *Cirphis unipucta* Haworth, *Pseudaletia separate* Walker 及 *Leucania separate* (Walker) 等學名，屬於鱗翅目夜蛾科 (Lepidoptera: Noctuidae) 的昆蟲，俗稱行軍蟲或剃枝蟲，在中國大陸則稱為粘蟲。粟夜盜蟲分布很廣，涵蓋阿富汗與巴基斯坦以東、紐西蘭以西及澳洲以北、中國東北及日本北海

道以南地區，屬於雜食性昆蟲，除水稻、陸稻外，尚可危害麥類、粟、玉米、高粱、甘蔗、牧草等作物、及多種禾本科雜草等，大發生時，亦可取食棉花、豆類、甜菜、蕃茄及甘藷等作物 (屈 1982)。粟夜盜蟲並非水稻的重要害蟲，但近年來在印度、孟加拉及中國部分地區之水稻時有嚴重被害的報導，一般以陸稻與看天田水稻受害較為嚴重 (Dale 1994)。在臺灣粟夜盜曾被紀錄在小米、高粱、玉米、甘蔗及水稻上危害，但除在 1947 年於雲林斗六的水稻上造成局部危害 (王 1947) 及 1987 和 1993 年在台南縣局部地區大發生危害高粱 (顏 1993) 較具規模外，平常多以在局部地區造成零星危害之報導為主；幼蟲可咬食葉片或剪斷稻穗危害，但尚未有造成嚴重災害之情事。

粟夜盜雌蛾體長 18~20 公釐，翅展 41~45 公釐；雄蛾體長 16~18 公釐，翅展 38~41 公釐。雌蛾體與前翅皆為黃褐色，雄蛾體色較深。前翅中央近前緣之環狀紋與腎狀紋呈淡黃色近圓形，由翅尖向翅後緣末端三分之一處有暗褐色點線一條，外緣有 7 個小黑點，緣毛黃褐色；後翅面暗灰褐色，內面淡灰褐色向外緣漸呈棕色，緣毛淡黃褐色 (圖二十三 A)；於翅基前，雄蛾具翅刺 1 根，雌蛾有 3 根，可與前翅相連。

成蟲一般於日沒後 2 小時左右羽化，當夜活動力較弱，

次日白天隱藏於作物或雜草間，傍晚開始活動，覓食花蜜、昆蟲分泌之蜜露，或成熟果實汁液。雌蛾在產卵前活動力甚強，食量很大，對糖、酒、醋之混合液，及發酵物和酒糟等具強烈之趨向性，對白熾燈之趨性弱，但對螢光燈 (black light) 具有較強的趨向性。雌蛾產卵盛期出現於晚上 8~12 時，產卵部位因作物而略有差異，在水稻上大多產於植株基部枯黃的葉片尖端上；在玉米和高粱植株上，大多產於枯葉邊緣和葉尖上，或產於穗之苞葉或花絲上。產卵時，成蟲先



圖二十三、粟夜盜成蟲 (A)、幼蟲 (B)、被幼蟲危害掉落之稻穗 (C) 及幼蟲危害葉片之狀況 (D)。(黃守宏 提供)

縱折枯葉，並分泌膠狀物，將卵粒黏成條狀之卵塊，由外不易被發現。每一卵塊由卵粒 40~60 個組成，多者含有 200~300 粒不等。雌蛾產卵期平均 6~7 天，每一雌蛾一生約可產卵 500~1,600 粒。成蟲的發育與產卵的適溫為 15~30℃，最適產卵溫度為 15~22℃，較適宜的濕度為 RH 80~90%。成蟲壽命由數天至 10 餘天 (屈 1982)。

成蟲飛行能力很強，一般於羽化後次日之傍晚 (日落後 30~45 分鐘) 時刻朝上升角度往上空飛出，隨氣流飛行遷移，每小時能飛翔 20~40 公里，可持續飛行 7~8 小時，至黎明前後始降落，如此在空中遷移 2~3 天或更長時間，才降落於新的繁殖區。最大的遷移距可達 1,488 公里 (李 1964)。

粟夜盜的卵期在夏天為 4~6 天，初孵化幼蟲群集於卵殼附近，經數小時後分散，第 1, 2 齡幼蟲受驚動時就吐絲下垂隨風分散。幼蟲在白天潛伏，夜間活動，但陰天時，白天也能活動取食。在水稻上，幼齡幼蟲大多躲藏於水稻心葉或葉背，3 齡以後受驚動時即卷縮蟲體而掉落地面的假死習性，白天通常潛藏於稻株基部之間，4 齡以後有時潛伏於植株根際旁的鬆土內或土塊下。在高粱、玉米上，初齡幼蟲常藏匿於輪狀新葉、葉舌或穗苞葉內，有時也躲在葉背或枯葉卷的縫隙內。幼蟲可脫皮 5 次，共有 6 個齡期 (圖二十三 B)，在

夏天約歷時 17~20 天。第 1, 2 齡幼蟲只取食葉肉，留下長短不一的白色食痕，第 3 齡後食量漸增，能將葉緣咬成缺刻，第 4~6 齡蟲食量暴增，可將葉片蠶食殆盡 (圖二十三 D)。按室內飼育取食量測量，第 1~3 齡幼蟲之取食量約只占全幼蟲期的總取量之 1.3%，4, 5 及 6 齡幼蟲則分別占 1.3, 12.4 及 84.3%。在大發生時，不僅整塊稻田的葉片可被取食殆盡，水稻抽穗後可咬斷稻穗 (圖二十三 C)，而導致稻米產量的嚴重損失。食料不足或環境不適時，常成群向臨近稻田遷移，所經之處，多數植物幾被掠食殆盡。老熟幼蟲多在水稻植株基部間化蛹；在高粱、玉米等旱地作物上，老熟幼蟲大多潛入根際旁的鬆土內作土室化蛹。蛹期在夏季約歷時 8~11 天。完成一個世代約需歷時 30~35 天。溫度低於 10℃或超過 34~35℃，對卵、幼蟲、蛹及成蟲各生長期的發育皆有不良的影響 (屈 1982；Dale 1994)。粟夜盜在臺灣中部一年約可發生 5~6 世代，無嚴格越冬現象，然因雜食性，寄主植物種類眾多，平時在水稻上發生危害並不嚴重。

粟夜盜在東亞地區是為赫赫有名的長距離遷移性害蟲，每年 3~4 月由中國的嶺南地區開始向北遷移，於 5 月下旬至 6 月再由河北、山東等地遷往東北、蒙古、朝鮮及日本等地區，然後在 9 月下旬第四代成蟲往南回遷至浙江及湖北以南

地區危害，於 11 月上、中旬進入越冬，部分羽化成蟲南遷至福建、廣東、廣西及雲南等地危害晚稻及冬小麥 (李 1964；Yan 1991)。按李 (1964) 之報告，粘蟲在中國東半部地區之發生區劃，臺灣、福建、廣東、廣西及雲南皆位於適宜冬季繁殖氣候區。粟夜盜在臺灣之族群消長、寄主轉移及其他有關之發生生態尚未完全了解，有待進一步研究。

第陸章 遷移性水稻害蟲之防治對策

第一節 水稻栽培及蟲害之管理

長距離遷移性水稻害蟲，褐飛蝨、白背飛蝨、斑飛蝨及瘤野螟等自 1960 年代後期以來，一直是危害臺灣水稻之主要害蟲，也是在策劃水稻害蟲防治時需要特別注重的害蟲。然而在水稻田除上述遷移性害蟲外，尚有若干屬於地區性害蟲，如螟蟲類、葉蟬類及甲蟲類等害蟲，在若干地區有時亦可能造成相當程度的危害，因此在擬定防治策略時，對這些地區性害蟲的生活習性、發生生態以及危害潛能等，亦須同時被考慮。防治方法之選擇與運用時機，不應因循過往依各別（病）害蟲考量其發生狀況實施防治。為追求水稻病蟲害防治的整合與簡化，防治方法的擬定，應以水稻的各別生長時期可能遭受的（病）蟲害，對水稻生產影響作整體評估，再擇於若干重點時期選擇適當的方法及時實施防治。由於以往水稻保護著重於藥劑防治，衍生諸多副作用的弊端，許多學者認為，防治方法的考量應從生態面去「預防或減緩」蟲害發生的措施，而非待害蟲大發生後的藥劑「治療」；保護的結果則應著重於農民的收益而非於稻穀的收量（鄭 2003；Brar et al. 2009; Gurr 2009; Litsinger 1994; Lu & Heong

2009)。

作物病蟲害的發生程度，除與氣候環境有關外，與病蟲根源、寄主植物對病蟲的感受性 (susceptibility)，以及寄主植物和對病蟲的管理措施都有密切關聯。因此在擬定防治策略時，應擴及水稻管理系統對病、害蟲發生危害的影響，如種植水稻品種的特性，例如作物對病蟲危害的抗 (耐) 程度，栽培管理 (含期作之間隔，栽植的行、株距，灌溉及施肥措施) 方式，以及田間衛生等都需考慮在內。此外各種重要 (病) 害蟲的發生特性、增殖過程及經濟危害基準 (economic threshold) 都須事先了解，作為 (病) 害蟲族群偵查、判斷適當的預防措施、防治適期以及防治效果評估等的依據。茲將有關水稻 (病) 害蟲防治前應具備之相關訊息簡介如下：

1. 臺灣水稻栽培概況及各生長發育期對產量的影響

臺灣地處亞熱帶，高溫多濕，稻田灌溉系統相當完善。水稻一年栽植兩期，兩期作之間因低溫或因須經翻土、曬田及整田等作業，有一段時間田間沒有水稻，使害蟲無法在同一地區連續繁衍增殖，降低在同一地區連續遷移危害的機率。

臺灣栽培的水稻以稉稻為大宗，約佔 90%，秈稻約佔 9%，其它 (含糯稻) 約佔 1%。第一期稻大多由元月上、中旬至 3 月中、下旬插秧，6 月初至 7 月中旬收穫；第二期稻則由 6 月下旬至 8 月上旬插秧，10 月中旬至 12 月上旬收穫；南部地區氣溫較高，插秧與收穫期約分別較中、北部地區早 1 及 2 個月。水稻在一期作之生育日數為 120~150 日，二期作為 100~120 日。

水稻之生育期，一般可分為營養生長、生殖生長及成熟等三期。營養生長期係由種子萌芽至幼穗分化開始為止，為期 60 天左右，在高溫 32℃，分蘗期稍為提早停止。營養生長期又可細分為秧苗期 (種子萌芽至葉片 3 片左右)，始分蘗期 (主莖葉片 4~6 片)、分蘗盛期 (分蘗數快速增加時期) 及最高分蘗期 (約出現於幼穗分化前後，每莖分蘗數達到最高期，直播稻每株約可分 2~5 支分蘗，移植稻每莖約可分 5~6 支分蘗)。在營養生長期中，植株分蘗數快速增加，株高快速增加，葉片增多。在開始分蘗至最高分蘗期前之分蘗株都可抽穗，其後之分蘗株通常無法抽穗稱為無效分蘗。

生殖生長期，始於幼穗分化形成期，止於開花期，歷時約 30 天。在此期中，稻莖之上位五個節間明顯伸長，植株顯著增高，劍葉 (最上位葉片) 伸出，劍葉之葉鞘因幼穗之

發育而膨大，然後幼穗抽出、開花授粉。生殖生長期又可細分為幼穗分化形成期 (通常始於抽穗前 30 天)、幼穗發育期(孕穗是指幼穗發育的最後的一個階段，通常出現於幼穗分化形成後 16 天左右) 及抽穗開花期 (稻穗由劍葉葉鞘中伸出)，開花後數秒完成授粉，並於 30 分鐘內完成授精，穀粒開始發育而進入成熟期。

成熟期是指開花受精後至穀粒成熟的時期，在第一期稻歷時約 30~35 天，在第二期稻約 40~60 天，隨溫度之高低而異。在此期中又隨著胚及子房 (胚乳) 之發育程度而區分為乳熟期 (胚乳呈水狀乳白色)、糊熟期 (胚乳呈麵糊狀)、黃熟期 (穀粒內容豐滿硬化，外穎逐漸變黃) 和完熟期 (穀粒完全成熟，咬之易碎，葉片老化變黃)。

稻穀的單位面積產量，一般認為是受水稻品種、單位面積穗數、每穗穎花數 (粒數)、稔實率和千粒重等五大因素所影響。單位面積穗數主要受營養生長期之發育情況與單位面積之莖數所左右；繁殖生長期則為決定穗的長度、穎花數及稔實率之關鍵時期；而成熟期是為決定穀粒之充實度 (千粒重) 之重要時期。由此得知，水稻各生長期的發育情況，都可能影響稻穀的產量，其中又以分蘖盛期，幼穗分化期至抽穗期，及穀粒充實期最為關健。在此等時期若遭受逆境因

子，如溫度偏高或太低、浸水或乾旱、颱風侵襲、栽培管理不當、養份失調及病蟲危害等皆可影響產量的高低。然而一般認為在生殖生長期遭遇逆境之衝擊，影響水稻之生產為最大，在營養生長期遭受逆境，如病、蟲危害，因作物生長旺盛，比較容易獲得補償；成熟期受害，對穀粒的飽滿度 (千粒重) 和米質的影響較大，對產量的影響相對較輕 (松島 1972；陳 2002；郭等 2000)。

2. 水稻對害蟲危害的容忍程度

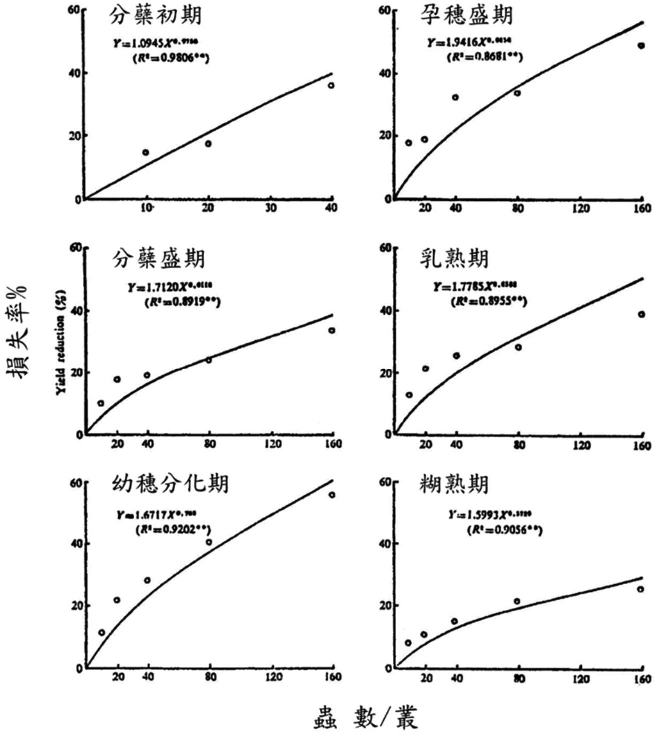
水稻害蟲按其危害方式，大概可以分為兩大類，其一係以咀嚼式的口器啃咬水稻組織危害，如螟蟲類與瘤野螟等屬於鱗翅目害蟲，負泥蟲、鐵甲蟲及水稻水象鼻蟲 (*Lissorhoptrus oryzophilus*) 等屬於鞘翅目害蟲，和屬於直翅目之蝗蟲類 (*Oxya* spp.) 等屬之；另一類主要是刺吸式害蟲，其中以刺吸式口器穿刺水稻維管束組織掠取養液者最為嚴重，其殘留於維管束組織內之口針鞘 (stylet sheath)，亦可阻礙水與養液之輸送，而其排泄之大量蜜露 (honeydew) 可覆蓋於葉片上，影響植株之光合作用，如水稻飛蝨類、葉蟬類、蚜蟲及粉蚧殼蟲類等屬之；屬於半翅目之椿象類，雖然亦屬於刺吸式口器害蟲，但不一定由維管束吸食，其排泄物

亦不含蜜露，此類害蟲除黑蝽象外，主要危害水稻穀粒，造成米粒乾癟或形成斑點米；此外如稻薊馬類(*Stenchaetothrips biformis* & *Haplothrips aculeatus*) 及稻細蟎(*Steneotarsonemus spinki*) 是先以口針刲傷組織的表皮，再吸食汁液；而潛食於組織內之稻心蠅 (*Hydrellia philippina*) 與亞洲潛葉蠅 (*Psudonapomyza asiatica*) 之幼蟲，分別以口器破壞未展開之心葉內緣，造成不規則之淡黃色缺刻食痕，或潛入葉片內以口勾破壞海綿組織，再吸食汁液，造成葉片上之袋狀白斑，影響光合作用。無論是遭受咀嚼式口器或刺吸式口器害蟲的危害，其取食量都隨著幼蟲之成長而增加。以一種具有 5 個齡期之幼 (若) 蟲的害蟲為例，最後兩個齡期之取食量約可占其幼 (若) 蟲期總取食量的 90%左右 (鄭 1979, 1987)，因此當發現植株被害情況急速惡化時，表示害蟲的蟲齡大多已屆老熟，若需防治，到此時才實施作業已是太晚；防治措施大部分應在幼蟲發育至 3 齡蟲前執行，才可獲得最大利益。

另一方面，不同生長時期的水稻植株，對不同害蟲亦有不同程度的引誘力，且對害蟲危害的容忍程度也有很大的差異。水稻在分櫱前秧苗期與抽穗後成熟期，無論對屬於咀嚼式口器害蟲 (如二化螟及瘤野螟)，或刺吸式口器害蟲 (如稻

飛蝨) 的誘引力、存活率及發育狀況，皆明顯地低於分蘗中至抽穗前之水稻 (那波 1991；深町 1980)，尤以抽穗後水稻之誘引力為最低，此與稻莖之碳/氮比有密切關係。稻莖之碳/氮比由分蘗期逐漸下降，到分蘗最盛期達到最低，氮素在此時期達到高峰，進入生殖生長期後，氮素含量就快速下降，而碳素 (或醣類) 含量則剛好與氮素含量相反，呈現快速的增加。在水稻分蘗前因禾苗幼嫩和稻田積水，為稻心蠅與亞洲潛葉蠅所喜愛危害，而抽穗後則因有穀粒可供取食，成為稻蝽象類害蟲與稻細蟎所喜好危害的時期。由此可見不同生育期的水稻可能遭受不同種類害蟲的危害，且各水稻生長期對各類害蟲危害的容忍程度亦有很大的差異。

利用盆栽的台南 5 號水稻 (對稻飛蝨類和葉蟬類都呈感蟲性稻種)，在不同生長期遭受不同數目之褐飛蝨的 3 齡若蟲危害 7 天，對稻穀產量之影響為例，以分蘗初期秧苗遭受危害之容忍程度最差，其次依序為孕穗初期，孕穗中期，乳熟期，分蘗盛期至最高分蘗期，及糊熟至黃熟期 (圖二十四) (鄭 1978, 1979；Chen & Cheng 1978)。Rubia-Sanchez et al. (1999) 使用感蟲粳稻 (Nipponbare) 與秈稻 (TN1) 之分蘗期植株 (播種後 21 天，植株含有母莖及第一分蘗莖)，每株分別接褐飛蝨的 4 齡若蟲 32 隻，危害 5 天後調查，發現母莖遭受褐



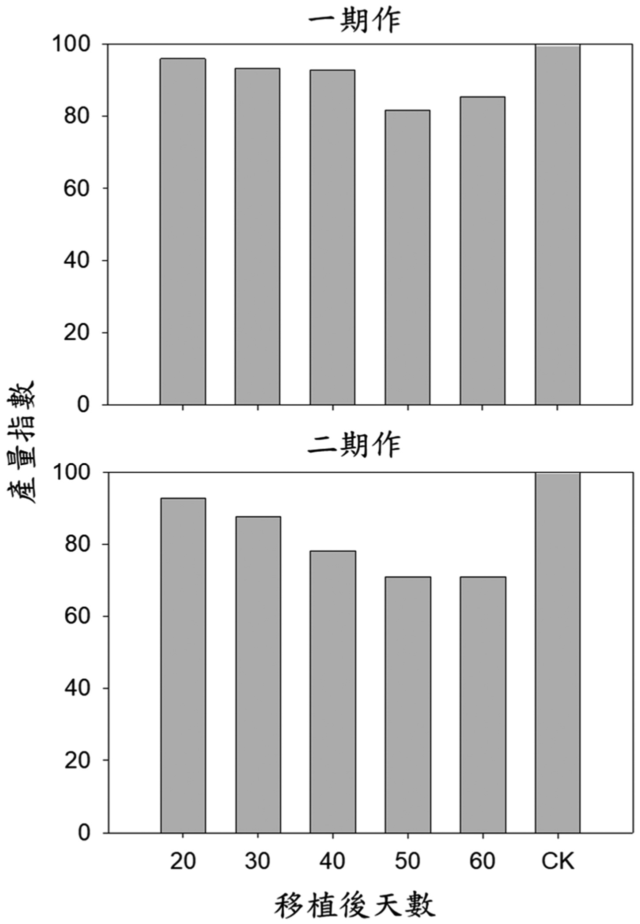
圖二十四、台南 5 號水稻在不同生長期遭受不同密度之褐飛蝨的
危害與稻穀產量損失率之相關。(鄭 1979)

飛蝨之危害影響甚大，植株高度、葉面積、頂葉與頂二葉的平均光合作用率、葉片與莖部之氮素含量，以及母莖的乾物重都明顯低於未受害者；稉稻受害程度高於秈稻；若保持第一分蘗莖不受褐飛蝨的危害，則母莖受害後之葉面積與乾物重之下降明顯地較剪除第一分蘗莖者為少，表示分蘗株對母莖遭受褐飛蝨的危害具有補償作用。顯示對褐飛蝨呈感受性

且分蘗較少的品種，在分蘗生長期後遭受褐飛蝨的危害，可能無法獲得充分的補償；另一方面，光合作用能力較高且光合產物轉移速度較快的品種，在遭受危害後獲得補償，較光合作用能力較差或養分轉移輸送速度較慢的品種為大，可見光合作用能力及營養物質在分蘗植株間的轉運速率，在水稻受害後之補償作用扮演重要的角色。

咀嚼式口器害蟲對作物的危害主要是蠶食葉片成缺刻，或在葉片上形成長短不等的白色斑紋，影響作物的光合作用。在評估取食葉面積對作物生產的影響，常以剪除葉片的片數或面積來換算。福田 (1937) 以盆栽水稻 (第 1 期作稻種：花螺，第 2 期作稻種：格仔) 在不同生長期，以剪刀去除相同比率之葉片，結果顯示在分蘗生長期剪除 20~30% 之葉片，稻穀產量減少 5~10%，但在幼穗分化期至抽穗前期間剪除相同比率的葉片，則損失率增加到 20~30% (圖二十五)，隨稻品種及剪除季節而異 (胡等 1992)。

Tanaka (1961) 以 $^{14}CO_2$ 測定水稻乳熟生長期各層葉片同化 ^{14}C 的分配情況，結果顯示主莖頂葉 (劍葉) 的 ^{14}C 只出現於穗部；主莖倒 3 葉的 ^{14}C 可輸送至穗部、倒 2 葉及頂葉，顯示水稻產量的形成主要是靠頂端 3 片葉的光合作用的生產物，當頂葉嚴重被害後，稻株的補償主要是由倒 2 葉與倒 3



圖二十五、在水稻不同生育時期切除30%之葉片對稻穀產量指數之影響。(福田 1937)

葉承擔。以人工剪葉驗證發現，當頂葉一半被剪除時，稻株具補償能力，穀粒千粒重與無被剪葉的對照區並無明顯差異；但當頂葉全葉被剪除時，穀粒千粒重比對照區者下降

5.03%，顯示頂葉嚴重被害時可導致產量下降；當頂位 3 片葉全部被剪除時，則千粒重的損失可達 31.95%，雖然如此，但實際上仍然保有 20.82 公克的千粒重，表示當頂位 3 葉片完全被害時，下面葉片及葉鞘也有相當程度之光合作用的補償能力。

在水稻遭受瘤野螟危害的情況，陳等 (1992) 發現葉片受害後，受害葉的光合強度下降，下降幅度與葉位、受害程度及受害時間的長短有密切關係；最上位的劍葉和倒數第 2 葉片受害後，光合作用強度都呈現下降現象，尤以劍葉被害後下降最為明顯，但隨時間的延長，光合作用強度日漸回升；劍葉受害愈嚴重，倒數第 2 葉及第 3 葉片的光合強度增加幅度越大，表示在劍葉受害後，倒數第 2 葉或倒數第 3 葉片都表現出明顯的補償作用。

在臺灣，瘤野螟主要危害出現在水稻孕穗後至乳熟期，以植株最上位三片較嫩的葉片被害最為嚴重。幼蟲的相對取食速率及相對生長速率皆隨氮肥施用量而增加，但隨矽肥之施用量增加而降低，表示氮肥施用量對瘤野螟的危害具有促進作用，而矽肥對瘤野螟之危害則有抑制作用。同樣現象亦出現於水稻遭受二化螟的危害，在水稻分蘗期中遭受危害而造成 10%的枯心率時，稻穀的損失率為 3%左右，但在孕穗

期遭受危害，水稻被害之補償機制已大幅下降，當被害白穗率達 2~3%時，稻穀損失率就可達 5%左右 (劉 1977；Koyama 1975)，可見在分蘗期水稻因尚處於發育成長階段，被蟲害後補償能力甚強，但在幼穗分化期後被害，則因可影響穗穎花數及稔實率，水稻被害後的補償能力已明顯下降，對稻穀產量之影響自然較大。

3. 害蟲經濟危害基準的概念及應用

經濟危害基準 (economic injury level，簡稱 EIL) 是指足以造成作物經濟損害的最低害蟲密度。所謂經濟損害係指採取防治一次所需投入的成本 (包含藥劑費、施藥工資、器械磨損及燃料費等，需要時亦可將實施保護時對環境所造成的副作用大小計算在內) 與保護後多獲得產品同等價值的補償 (Stern et al. 1959)。換句話說，是指造成單位面積作物損失量的市場價值與單位面積作物防治一次成本相等之害蟲的臨界密度 (NSA 1969)。此一基準可供判別害蟲族群到達哪一密度才有防治價值，何時是適當的防治時期 (在自然情況下，害蟲的族群的成長經常與作物的生長期有某種程度的契合性，在作物的某一生長期，害蟲就可能到達 EIL 的基準)，以及提供評估防治效果的基準。因此釐定害蟲的經濟危害基準

是為實施害蟲綜合管理 (integrated pest management，簡稱 IPM) 的重要基礎。有了經濟危害基準，害蟲的防治才不致於過度頻繁或稀疏，而導致浪費防治的資源，或可能致使無法挽回的被害損失。

然而經濟危害基準只是投資與報酬等值之概念，如欲從防治中獲得利益，則須能預測害蟲族群可能達到經濟危害基準之前，就需要實施防治。被預測可能達到經濟危害基準，需要實施防治的害蟲族群密度稱為「經濟閾值」(economic threshold，簡稱 ET)，或稱為經濟防治基準 (control threshold)。害蟲經濟防治基準之族群密度通常是較經濟危害基準為低，在害蟲密度達到「經濟防治基準」時實施防治處理，避免害蟲之族群密度達到或超越「經濟危害基準」之門檻，才可以獲得防治的經濟利益 (Metcalf & Luckmann 1974)。

從上述的定義，可見無論是經濟危害基準或經濟防治基準值都不是固定數值，而是隨著作物的品種及生長時期的耐蟲程度、產量、產品的市場價值和防治成本而變動。一般而言，在水稻營養生長期及繁殖期，是危害蟲族群快速增長時期，也是導致作物遭受危害影響產量的重要時期，訂定的經濟閾值需要較為嚴謹；在水稻成熟期，多數的害蟲開始往外

遷出，族群密度逐漸下降，在此情況下考慮經濟閾值，除非有特殊情況，一般就較為放寬。另一方面，某些國家將施藥對環境的汙染也計算在防治成本的項目下，增加幅度依對環境保護的重視程度而異；藉提高經濟危害基準之害蟲的發生密度，以降低藥劑處理費用及所造成的污染。例如在日本建議訂定的經濟危害基準，一般為可造成稻穀 5%損失的害蟲密度，該基準較由害蟲直接危害損失與防治成本所計算之經濟危害基準高出 1~2% (Andow & Kiritani 1983; Emura & Kojima 1980; Kiritani & Naba 1994; Koyama 1975, 1978)。

臺灣水稻害蟲的經濟危害基準之建立始於 1970 年代後期 (劉 1977；鄭 1978，1979；Chen & Cheng 1978)，當時是以台南 5 號水稻為供試品種，試驗害蟲有二化螟、褐飛蝨以及瘤野螟等，測定不同水稻生長期，遭受不同數量害蟲危害，可能造成危害的稻穀損失量及其價值，並以當時的防治成本 (約 1,080 元/ha)，稻穀的產量 (4,000kg/ha) 與每公斤市場價格 (8 元/kg) 計算獲益臨界 (gain threshold)；獲益臨界 = 防治費用 (NT$/ha)/作物市場單價 (NT$/kg)，減收率 = 獲益臨界/稻穀收量 (kg/ha) 為 135 kg/ha，或為 3.375%的產量損失率；然後以此損失率為基準，在水稻不同生長期接種不同數量害蟲危害的試驗，由接蟲數所造成產物的損失率進行

迴歸分析，就可顯示出有幾隻害蟲的危害才可導致 3.375%的產量的損失率，該害蟲數就被訂定為水稻於某一生長期的經濟危害基準 (如圖二十四)。

害蟲的經濟危害基準及防治基準的訂定，通常只針對數種重要害蟲，其他害蟲就以近似種之危害程度與產量之關係換算，或參考國外報告暫訂。臺灣水稻各重要害蟲暫訂的經濟危害基準列如表一 (鄭 1979, 1995)。按上述基準，理論上害蟲的族群的密度應達到可導致稻穀產量損失至 3.4%左右才有防治價值，然而目前栽植水稻品種的耐蟲性、產量、稻穀的市場價格以及防治成本等與以前比較，皆有明顯的變異，且國人對環保意識日益重視，上表所列之經濟危害基準應有重新調整之必要。

在實際應用上述之經濟危害基準於防治害蟲時，需同時考慮到主要害蟲種類的發生狀況及其危害特性，以及作物對害蟲的感受性。即使是同一種害蟲，危害糧食作物與蔬果作物，產品外觀對市場價值的影響就有很大的差別；對糧食作物，如水稻、玉米及小麥等，稍微遭受危害，無論對產量與產品價值的影響並不明顯；但對蔬果類作物而言，即使是輕微的受害，就有可能影響產品之賣相及市場價格。因此害蟲在蔬果類作物上之經濟危害基準就較在糧食作物上者為低

(鄭 2001)。

表一、台灣水稻主要害蟲之經濟危害基準（暫定）(鄭 1995）

害蟲名稱	經濟危害基準	參考文獻
褐飛蝨 白背飛蝨	抽穗前：5～10 隻/叢 抽穗後：＞20 隻/叢	鄭 1979, 1986； Chen & Cheng 1978
白背飛蝨 斑飛蝨	10～20 隻/網	鄭 1986
黑尾葉蟬 電光葉蟬	10～20 隻/網	鄭 1979
瘤野螟	成蟲＞1 隻/m^2 3 齡幼蟲＞1 隻/叢	鄭 1987；顏 1981
二化螟	分蘗期：側黃葉率 10～20% 白穗率 2%以上	鄭 1987；劉 1977
負泥蟲	分蘗期：＞2 隻/叢	劉 1981；鄭 1979
水稻水象鼻蟲	分蘗期：＞0.5 隻成蟲/叢	Hshih & Cheng1992
稻心蠅	移植後 20 天內 被害葉率＞20%	鄭 1979

在同一種作物上，害蟲因生活習性與危害部位不同，其經濟危害基準亦各自不相同，如以危害水稻之褐飛蝨、白背飛蝨、斑飛蝨及偽黑尾葉蟬為例，雖然四種害蟲都以刺吸式口器取食水稻組織之營養液為食，但褐飛蝨之成、若蟲皆習慣棲息於稻莖的基部，自葉鞘維管束之篩管吸取養液，族群

高峰常出現於第三或第四世代若蟲期，耐擁擠程度甚高，密度高時，每一叢水稻可聚集上千隻之成、若蟲；而白背飛蝨與斑飛蝨雖亦自篩管取食，但兩種害蟲之耐擁擠度皆遠低於褐飛蝨，常分散危害或遷出稻田轉移寄主危害；前者之族群高峰主要出現於水稻分蘖至抽穗之間，水稻抽穗後其族群就大幅下降；相反地，斑飛蝨之族群密度雖隨水稻之生長期而增高，但其成、若蟲在水稻抽穗後就麋集於穗部取食危害，因危害之族群密度遠低於褐飛蝨，在臺灣尚無造成水稻枯萎現象之發生。至於偽黑尾葉蟬取食於維管束之導管與篩管，由口針抵達終點分析，約有 60%終止於導管，30%於篩管，所分泌之蜜露是否含糖及氨基酸之蜜露數計算，由導管者約為由篩管取食者之 6.7 倍；由一天取食所分泌蜜露之氨基酸含量計算，一隻黑尾葉蟬成蟲約消耗 1 毫克的糖與少於 4 微克的氨基酸，顯然低於褐飛蝨 1.8 毫克的糖與 0.45 毫克的氨基酸 (Cheng & Pathak 1972; Ôya 1980; Sogawa 1970)；其族群耐擁擠度較上述 3 種稻飛蝨更低，可能由直接取食造成嚴重危害之機率遠較稻飛蝨類為小，是故上述 4 種害蟲之經濟危害基準亦各自不相同。

在稻田中，發生害蟲之種類繁多，若欲完全依照各種害蟲之經濟危害基準實施防治相當困難，且不符經濟原則。實

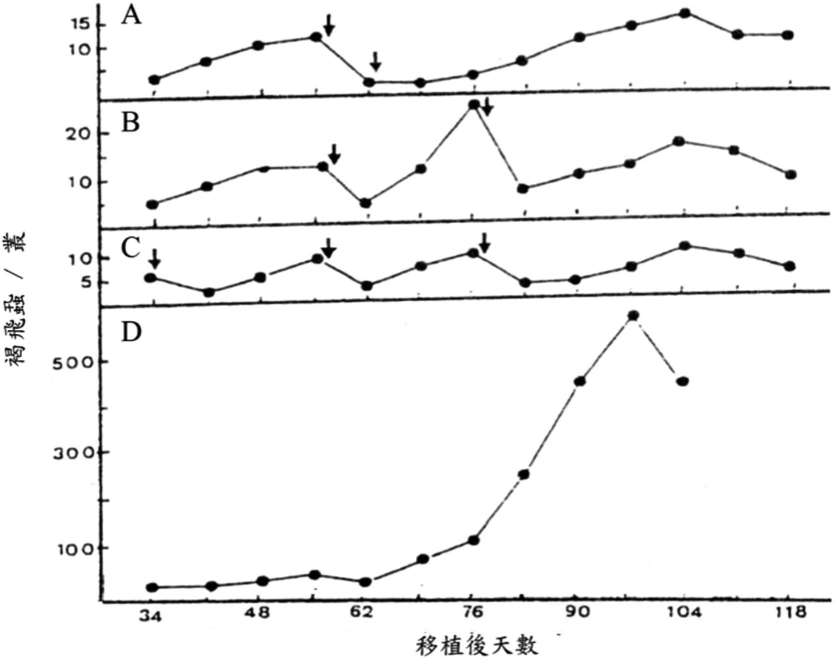
際操作時，一般是以經常可導致產量嚴重損失之主要害蟲的經濟危害基準之可能出現時期，如害蟲之發生的世代數，或可能出現在某一水稻生長時期，作為防治之適當時期，然後再考量有哪些種類害蟲在此一時期之前後，可以和主要害蟲合併實施防治，若有不足，再按害蟲種類尋找需要補足的防治時期及措施。如此以主要害蟲的經濟危害基準當作尋找防治適期的指標，遠比完全依照各種害蟲之經濟危害基準實施防治更為簡單易行。

以目前臺灣第一及第二期稻的水稻害蟲為例，在第一期稻的害蟲有斑飛蝨、黑尾葉蟬、電光葉蟬 (*Recilia dorsalis*)、二化螟及三種遷移性害蟲－褐飛蝨、白背飛蝨與瘤野螟等。其中，前三種害蟲及二化螟在局部地區的族群密度偶有可能超越經濟危害基準；而三種遷移性害蟲一般在 4 月下旬至 5 月上旬開始零星遷入，此時水稻已屆抽穗後期，不再是為遷移性害蟲喜好產卵繁衍的時期，少有對水稻構成經濟危害之機率。在此情況下，除非二化螟在第一世代幼蟲的危害造成的枯心率超過 10%才有需要採取防治外，否則可以在水稻孕穗中、後期與斑飛蝨及葉蟬類等合併防治，就可以有效地抑制其對水稻造成經濟性的危害。

在二期稻，水稻於移植後，白背飛蝨、褐飛蝨及瘤野螟

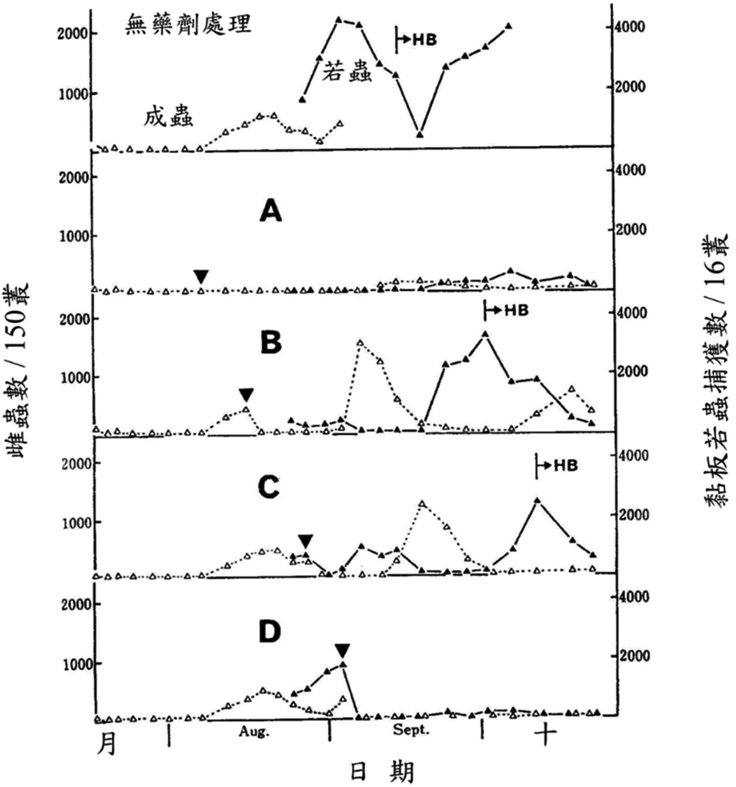
等遷移性害蟲就陸續遷入稻田取食與繁衍，其中白背飛蝨之族群可能於第一或第二世代若蟲期就達到族群高峰，從族群高峰環境下發育的若蟲，大多數發育為長翅型成蟲，此等成蟲在植株上經短暫停留取食後，即遷出稻田而使其族群密度呈現大幅下降 (鄭與黃 2004)。按以往紀錄，除非在遷入期間有大量成蟲遷入，白背飛蝨之族群高峰才可能出現於第一世代若蟲期，此時正值水稻發育旺盛之分蘗期，水稻遭受危害之容忍能力較強，對其後之發育及稻穀產量並不會構成明顯的影響 (鄭與黃 2004)；但若族群高峰出現於第二世代若蟲期，由於水稻遭受危害之容忍能力較低，若未採取措施防治，將會明顯地影響稻穀產量。斑飛蝨與葉蟬類等之族群高峰皆與褐飛蝨類同，出現於第三世代若蟲期，亦即在水稻抽穗後至水稻糊熟之間 (何與陳 1968；鄭 1985, 1990, 1993, 2003)。由於上述害蟲之第二世代若蟲，皆出現於幼穗分化期至孕穗末期，各別害蟲，如褐飛蝨之族群密度經常可達經濟危害基準左右，若以刺吸式口器害蟲之共食群 (feeding guild) 考量 (Huang et al. 2013)，則已遠遠超過經濟危害基準；另一方面，在這一水稻生長期又適逢第二期稻的瘤野螟、二化螟及大螟 (*Sesamia inferens*) 等害蟲之第二世代卵的孵化期至稚齡幼蟲期間 (何 1963；鄭 2000；鄭與吳 1999)。因此若

能在水稻孕穗之中、末期，即在第二世代褐飛蝨若蟲發生盛期（大部分若蟲在 3~4 齡以下）時，施用適當的藥劑處理 1~2 次，就有可能合併抑制褐飛蝨（圖二十六）、白背飛蝨、斑飛蝨、稻葉蟬類及螟蟲類等害蟲，避免彼等在水稻抽穗後造成嚴重危害。



圖二十六、在第二期稻於褐飛蝨發生不同時期施藥處理對其族群之抑制效果。箭頭↓表示施藥日期；A：表示於水稻孕穗期中褐飛蝨第二世代若蟲發生盛期連續施藥 2 次；B：表示分別於褐飛蝨之第二與第三世代若蟲發生盛期各施藥一次；C：表示按經濟危害基準分別於褐飛蝨族群每達 5～10 隻時施藥一次；D：表示無藥劑處理對照。(Cheng 1982)

在日本九州地區因褐飛蝨無法在該地越冬，為有效防治褐飛蝨，建議在飛蝨遷入後繁殖之第一世代成蟲出現前，或第二世代 3 齡若蟲發生盛期 (第二世代成蟲出現前) (圖二十七 A 或 D) 施藥防治效果最佳 (Nagata et al. 1973)。在臺灣



圖二十七、在日本九州於褐飛蝨遷入稻田後繁殖之第一世代成蟲出現前 (A)，第一世代成蟲出現高峰期 (B)，第一世代成蟲出現末期 (C) 及第二世代三齡若蟲發生盛期 (D) 施用 MIPC FG, 4 kg/ha 一次對褐飛蝨族群增長之影響比較，最上圖為無藥劑處理區，HB 表示水稻出現枯萎。(Nagata et al. 1973)

因害蟲發生情況較為複雜，建議於孕穗中後期處理較為妥當，如此操作非但可以減少農藥之使用頻率及費用，並可降低農藥使用後對環境所引起之副作用。

4. 害蟲族群監視

田間害蟲族群的監視 (population surveillance) 是了解害蟲族群之消長與變化的基本工作，可提供資訊作為擬定防治時期和管理策略的參考。無論是從田間樣本的稻株上直接目測害蟲的蟲數或危害等級，利用捕蟲網掃捕害蟲，或利用誘蟲燈、性費洛蒙或黃色水盤等誘蟲器材之偵察，多需經長期的實施，才能獲得較可靠的數據，提供分析，了解害蟲各世代族群的消長及其變化範圍，是探討影響害蟲族群變化因素不可或缺的資訊，也是擬定管理策略之主要依據。僅僅觀察一個期作，或在一、二年期間觀測所獲得的資料，只能代表該期或該年環境下的族群變化，無法提供進一步分析應用。就大面積水稻害蟲種類與其族群的變化而言，利用誘蟲器材的監測較為簡單易行，但這種數據之應用，需有田間直接調查的資料作為背景依據，方可推測由誘蟲器材所獲得數據消長的意義。

在各別稻田，水稻因栽培品種、栽植日期以及稻田管理

方法等不盡相同，害蟲發生情況也很可能有異，且每一種害蟲的生活習性與空間分布型 (spatial distribution pattern) 也可能有很大差異。因此取樣的方法與所需取樣的數量亦不盡相同。有關害蟲族群的估計與取樣，陳與蘇 (2001) 在害蟲管理生態學的論文中有較深入的論述，在從事各別害蟲的空間分布與取樣研究時，可參照該文從事較為深入的學術研究；但在田間害蟲管理時，因須同時面對多種害蟲，且害蟲的族群密度已經達到某一基準，取樣的精確度可稍微放寬。

以褐飛蝨為例，絕大部分的成、若蟲棲息於水稻植株基部 (下半部)，取樣時常以稻叢為單位；按 Kuno (1977) 報告，初遷入的成蟲分布是隨機的，符合波爾松分布 (poisson distribution)，而繁殖世代的成、若蟲的分布是聚集的，呈負二項分布 (negative bionomial distribution)。依照這種分布特性，陳 (1978) 建議在臺灣從事族群生態研究時，大約需取樣 50~70 叢水稻，才能符合精確度 0.20 的要求；而一般性的推廣或田間藥劑試驗時，則大約取樣 30~50 叢水稻就符合 0.30 的精確度。但同樣屬於刺吸式口器之白背飛蝨、斑飛蝨及葉蟬類等則絕大部分在水稻植株的上半部活動，族群密度調查以使用捕蟲網 (網柄長 1 公尺，網口直徑 37.5 公分) 在稻株上掃捕較為方便。

一般農友需面對多種害蟲的情況下，於偵查自己稻田的害蟲是否已達到應該採取防治行動的密度，通常可將一塊稻田概略地區分為 4 等分，在每等分稻田中隨機選取水稻 2 行，以跳躍方式取樣 20~30 叢水稻，計算在其上棲息之蟲數(如褐飛蝨、水稻水象鼻蟲或負泥蟲等活動性較小的害蟲)，或危害程度 (如螟蟲危害形成之枯心或白穗數，瘤野螟危害之捲葉數)；對活動性較強的害蟲，例如白背飛蝨、斑飛蝨及稻葉蟬類等，則在每等分水稻上以捕蟲網掃捕 10 網 (每一網約含括水稻 7 叢)，就足以獲得可靠之訊息 (陳 1978；鄭 1978, 1980, 1990, 2001, 2003；鄭與吳 1999；鄭與黃 2004)。若害蟲發生的密度每叢稻平均已達必須防治的基準 (既所謂的經濟危害基準) 時，就需考慮採取防治措施。

第二節 可應用於水稻害蟲的防治方法

一般應用於水稻害蟲防治的方法，傳統上可區分為物理防治、耕作防治、生物防治及化學防治等方法，各種防治方法有其適用的害蟲對象，亦有其應用之侷限。茲將各種防治方法，在臺灣水稻害蟲防治之應用狀況及其優缺點，分別敘述如下：

1. 物理防治法

使用物理防治法於水稻害蟲防治的範例頗多，如水稻苗床或箱育苗使用紗網或塑膠布覆蓋，藉以防寒害或害蟲前來產卵繁衍。於水田進水口加裝阻隔網，並於排水口平鋪 30 公分長的塑膠浪板，用以防止福壽螺 (*Pomacea canaliculata*) 之入侵稻田危害，並可隨時利用人工撿拾搗碎成、幼螺及卵塊，以降低其族群密度 (林 1986)。使用彩帶、閃光及音爆等方法驅趕害鳥，或使用防鳥網阻隔害鳥之侵入危害 (洪 2007；徐 2007)。利用誘蟲燈、食餌或黃色水盤 (黏板) 等器材誘殺害蟲的成蟲，或掘溝阻斷夜盜蟲類幼蟲之爬行遷移危害；徒手拍打，竹蓖梳殺危害葉片害蟲，或利用捕蟲網捕殺；拔除被害株和水稻收穫後燒毀稻樁、稻稿及雜草，以殺死棲息於其上之害蟲並破壞其棲地；使用聯合收穫機收割水稻，並將稻稿切成小段，經曬乾後以曳引機翻土，併同埋入土中，以殺死棲息於稻稿內之螟蟲等，都是為部分農友慣用於降低稻蟲危害的方法。使用物理防治對於利用稻樁或稻稿為越冬處所之害蟲，如二化螟蟲之防治效果相當明顯 (鄭與朱 1999)；水稻收穫後儘速翻犁稻田去除罹患病毒病害的殘株，同時清除田邊雜草，是為減少下一期稻遭受病毒病害之感染的有效措施 (陳 1978)。然而物理防治法對小型害蟲，如蚜蟲類、稻飛蝨、葉蟬類、稻薊馬、稻粉蚧 (*Brevennia rehi*)

以及稻心蠅等較難發揮作用。單獨使用物理防治法，一般而言，較適應用於小面積作物上若干害蟲的防治，但很難有效地應用於大面積多數害蟲的管理。

2. 耕作防治法

病 (蟲) 源、寄主及環境為影響植物 (病) 蟲害發生程度的三大要素，亦為影響主要病 (蟲) 害演變的主要因素。在1960 年代以前，臺灣水稻最重要害蟲有三化螟蟲與二化螟，兩者危害皆可造成枯心和白穗，因防治不易，常導致稻穀的嚴重損失。1960 年代中後期以後，褐飛蝨、白背飛蝨、斑飛蝨及瘤野螟等則陸續成為主要害蟲，其中以褐飛蝨的危害最為慘重，直至目前仍為東亞地區最受矚目的水稻害蟲 (Catindig et al. 2009; Dyck & Thomas 1979; Heong et al. 2014; Sogawa 2014)。上述兩種螟蟲的式微，稻飛蝨與瘤野螟的崛起，及水稻的栽培品種與耕作方式的改變皆有密切關係 (鄭與朱 1999)。耕作方式之改變，對害蟲種類之更動與族群之消長，有很大的影響，如水稻品種的選擇，種植的行株距及種植方式，肥、水管理方式，以及水稻收穫後田間的管理和田間衛生等，都可左右害蟲的發生狀況。因此藉調整水稻品種與耕種操作的方式，亦可達到降低害蟲族群的密度與預防

其危害的目的。由於大部分的水稻害蟲，例如黑椿象、稻飛蝨類、螟蟲類、瘤野螟、稻潛蠅類、鐵甲蟲、負泥蟲及水象鼻蟲等都喜歡在高溫潮濕的環境下棲息、繁衍及危害，是屬於所謂的半水性昆蟲 (semi-aquatic insects)，若能讓水稻田的微氣候環境的溫、濕度下降，將可降低多種害蟲的入侵棲息、繁殖及危害 (Litsinger 1994)。茲將其中對害蟲族群增長之抑制效果較為明顯的項目分述如下：

(1) 水稻品種

(1-1) 水稻品種與害蟲之演變

寄主植物對害蟲的感受性 (susceptibility)，是影響寄主植物遭受病 (蟲) 害危害程度的重要因素之一。水稻植株特性，如株高、葉色、葉面之附屬物—如臘質、絨毛的形狀、密度與組織含矽量，葉片寬度與葉片直立或下垂，稻莖的粗細與含矽量等，對不同種害蟲之棲息、產卵及取食危害等之偏好性具有直接或間接的關係 (Pathak et al. 1971)。在 1960 年以前，中國大陸和東南亞地區大多以栽培植株高大的傳統秈稻為主，這類傳統秈稻一般不耐氮肥、易倒伏及產量低，但經多年田間的篩選，對病、害蟲多少略具抗 (耐) 性；其後就逐漸被更改栽植經過改良之半矮性的秈稻品種-耐高量

氮肥、較不易倒伏，且產量較傳統品種提高數倍。

從臺灣水稻栽培品種之變遷，可發現約在 1900 年以前與中國大陸相同，主要栽植植株高大的傳統秈稻為主，其後至 1960 年以前所栽植的水稻逐漸轉為較偏向穗重型品種之稉稻－稻莖較粗、植株較高、每叢稻分蘗數較少、稻穗大而重，且稻株較易倒伏；1960 年後所育成推廣的品種就漸偏向於半矮性秈稻及穗數型稉稻品種－植株較矮、較傳統稻耐肥、每叢水稻的分蘗數與穗數較多且較短，稻莖較細、不易倒伏，並有利於收穫機採收，但也使田間之微氣候改變，溫、濕度環境隨之增高，有利於稻飛蝨類害蟲之危害，而成為近半世紀以來之水稻重要害蟲。

傳統秈稻及穗重型稉稻，稻莖的維管束的排列間隙較寬，有利於螟蟲類初齡幼蟲的蛀入莖內危害，且在粗莖內危害之幼蟲的體重及存活率都較在細莖的品種上危害者為高；此外植株較高、葉片較長較寬及葉面光滑者較為螟蛾喜好產卵，此可能為 1960 年以前東南亞與東亞地區水稻遭受螟蟲危害比較嚴重的一部分原因；此外，由於二化螟是在稻桿內越冬，在以往於水稻收穫後將已乾枯的稻藁堆積於田間，提供家畜之飼料、墊褥，或作為園藝作物栽培之畦面覆蓋，使二化螟得能順利越冬，連綿不絕地在田間繁衍，是為

另一重要因素 (江村 1994；陳與劉 1994；鄭與朱 1999；Munakata & Okamoto 1964; Pathak 1964)。

(1-2) 水稻綠色革命與稻飛蝨類害蟲之猖獗危害

1960 年初，設在菲律賓的國際稻米研究所 (International Rice Research Institute, IRRI)，於 1966 年後陸續育成植株較矮，被稱為半矮性 (semidwarf) 秈稻品種，如 IR8, IR20, IR22 等，耐肥且豐產，每公頃稻穀產量可達 10 公噸以上，較當時大部分的東南亞國家稻穀每公頃產量平均尚不足 2 公噸增加數倍，被稱為「神奇稻」(magic rice)，廣受熱帶地區東南亞許多國家的歡迎，紛紛大面積栽培，稱之為水稻「綠色革命」(green revolution) (ADB 2000; De Datta et al. 1968; Hazzel 2009)。此外中國也在 1973 年由位於湖南之雜交水稻研究中心 (Hybrid Rice Research Institute)，利用海南島發現之雄不孕之野生稻 (野稗)，將其特性導入半矮性秈稻品種，育成雄不稔系統 (珍汕 97A, V20A)，再以國際稻米研究所育成之豐產且具抗褐飛蝨遺傳因子之 IR 品種為回復系統進行雜交，成功地培育成雜交稻 (hybrid rice)，其產量較一般純系稻品種多出 10~20%，被美譽為「東方魔稻」，1976 年開始於華南地區大力推廣，栽培面積快速增加，至 1991 年之栽培面積

已佔中國水稻總栽培面積之 60%左右 (中國、湖南省農科院 1991；黃與範 1997)。 1990 年代後期，越南引入中國之雜交稻在紅河三角洲大面積栽培，栽培面積至 2000 年已佔該地水稻栽培面積之 70~80% (唐等 1998；寒川 2007, 2010；Cheng 2009; Thanh 2001, 2006)。惟無論是神奇稻或雜交稻，於早期育成的品種對大多數害蟲都不具抗性，其豐產是靠施用高量的化學肥料及農藥堆積而得。

褐飛蝨與白背飛蝨在東南亞及東亞地區，於 1960 年代以前，是為偶發性害蟲，少有造成嚴重災害 (朱與鄭 1996；唐等 1998；程等 2003；鄭與朱 1999；Dyck & Thomas 1979; Heinrich & Mochida 1984; IRRI 1964)，但無可否認的是，兩種害蟲的嚴重發生與危害程度和半矮性、多分蘗及耐氮肥的 IR 系列水稻與雜交稻的栽培面積具密切關係 (唐等 1998；Mochida et al. 1977; Smith 1972)。按 Cheng (2009) 在揚子江三角洲觀察發現，稻飛蝨在田間的主要發生種類與水稻品種有密切關係，在稉稻栽培區以褐飛蝨與斑飛蝨的族群密度較高，在雜交稻栽培區以白背飛蝨與斑飛蝨為主，但在秈稻栽培區則褐飛蝨、白背飛蝨及斑飛蝨等之發生密度皆很高。但 Dyck et al. (1979) 指出，在國際稻米研究所的農場，以傳統的高桿秈稻與半矮性的改良秈稻各數品種，在同樣的栽植方

法與同樣管理方式的情況下，褐飛蝨族群在兩種類型的水稻品種上的發生與危害並沒有明顯差異，顯示半矮性的改良水稻品種並不會特別促進褐飛蝨族群的成長，但每一叢水稻含有較多植株的品種，或單位面積內含有較多植株 (如直播稻或採密植栽培稻) 的稻田，褐飛蝨發生危害較一般栽培者為嚴重。然而因半矮性的秈稻及雜交稻較耐高氮肥，農友為追求高產施用高量的氮肥，而營造有利於喜歡溫暖潮濕之水稻害蟲棲息繁衍的環境，可能是導致飛蝨類與瘤野螟等害蟲嚴重發生的主要原因。

按中國福建省於 1978 至 1987 年間的偵察數據顯示，白背飛蝨的發生密度隨著雜交稻栽培面積的擴大增加達到 10 倍左右，而在湖南與廣東省亦有同樣現象發生，在華中之浙江省於 1980 至 1982 年調查發現，在雜交稻秈優 6 號上之白背飛蝨族群密度高達純系秈稻的 8 至 38 倍 (唐等 1998；寒川 1992, 2001, 2007)。以華南種植面積較廣的汕優 6 號及汕優 63 號為例，白背飛蝨在其上之繁殖力比在常規秈稻高出 2.6~3.5 倍 (黃等 1985)。中國雜交稻特別適於白背飛蝨之發生，主要是受其對白背飛蝨等害蟲特別敏感之珍汕 97A 不稔系統之遺傳特質，以及變異雜種作用 (heterosis，雜種優勢) 的影響有關 (Sogawa 2014)。由此可知為何在華南及越南紅河

三角洲地區，在大面積種植「神奇稻」和「雜交稻」後與東亞地區褐飛蝨和白背飛蝨大發生，造成嚴重蝨燒具密切關聯(寒川 2001；Sogawa et al. 2009; Thanh et al. 2001)。

由於「神奇稻」及「東方魔稻」都是耐肥、發育茂盛及豐產的栽培稻，同樣都因過量施用氮肥與不適當地施用殺蟲劑，而分別引起褐飛蝨與白背飛蝨等長距離遷移性害蟲的大發生，每年由「終年繁殖區」(推測為越南紅河三角洲) 遷出後，隨著西南季風的轉運，首先遷入華南，繁殖一個世代後之成蟲再往華中與日本等地遷移，引起東亞地區的水稻在 1960 年代中、後期開始遭受褐飛蝨的嚴重危害 (Dyck & Thomas 1979; Sogawa 1997)，且為 1990 年代後，白背飛蝨遷入華中、日本及韓國等地區造成危害的原因 (寒川 2001)。

臺灣位於稻飛蝨遷徙的途中，自然亦難幸免於外，自 1960 年代就遭受褐飛蝨的嚴重危害，而於 1990 年代後白背飛蝨之遷入蟲數就遠遠地超越褐飛蝨的遷入數，導致在第二期稻種植秈稻品種皆遭受嚴重危害 (鄭與黃 2004；Huang et al. 2007)。被兩種稻飛蝨波及地區的農民，為避免水稻遭受危害，更加無節制地噴灑農藥，隨即引起害蟲產生「抗藥性」(resistance) 及「再猖獗」(resurgence) (因農藥使用不當，而誘發害蟲的發生，較無農藥處理稻田更為嚴重，此種現象又

稱誘導多發生) 的現象發生，進一步導致稻飛蝨、瘤野螟及其他害蟲更為嚴重的發生，以及施用更多農藥的惡性循環。

為緩解藥劑防治所產生惡性循環之困境，最好的脫困方法是設法降低害蟲在田間之繁殖率，如栽植抗蟲品種、改變耕作方法以及增進天敵對害蟲的抑制效果等，其中以栽植抗蟲品種降低蟲害效果最為顯著，亦最容易獲得農民接受。

國際水稻研究所首先於 1960 年中、後期開始由其所搜集之 4~5 萬的水稻及野生稻品種中，從事大規模地進行水稻對二化螟、褐飛蝨、白背飛蝨、黑尾葉蟬以及其它重要害蟲抵抗性的篩檢工作，並開始從事水稻抵抗二化螟、黑尾葉蟬及褐飛蝨等害蟲的育種工作 (Brar et al. 2009; Cheng & Pathak 1964; Pathak 1972; Pathak & Khush 1979; Pathak et al. 1969)，迄至目前已育成推廣之抗病、蟲水稻品種已有數十品種，有些品種可以抵抗一種至數種病、害蟲，廣植於東南亞熱帶地區 (Brar et al. 2009; Heinrich 1994)，可以大幅度地降低藥劑的使用頻率。

(1-3) 水稻害蟲抗性品種篩檢

設於菲律賓的國際水稻研究所 (IRRI)，從 1960 年代開始就進行水稻對害蟲抵抗性研究工作。篩檢水稻品種對稻飛

蝨及葉蟬類害蟲之抵抗性，是沿用以往用於篩檢小麥抗麥癭蠅 (hessian fly, *Mayetiola destructor*)，或用於作物抗蚜蟲類的方法 (Painter 1951) 實施，通常是採用盤栽秧苗人工接蟲危害 (standard seedling screening test, SSST) 篩檢 (Heinrichs et al. 1985)。從保存於該研究所種原庫的水稻品種中，分別取出 44,335, 52,042 及 50,137 品種，檢定對褐飛蝨、白背飛蝨及臺灣黑尾葉蟬之抵抗性，其中對褐飛蝨具抗性者只占 1.54%，白背飛蝨者為 1.7%，對臺灣黑尾葉蟬 (*Nephotettix virescens*) 者為 2.9%。對褐飛蝨與白背飛蝨具抗性的品種都為傳統秈稻，其中對褐飛蝨具抗性者絕大部分源自印度半島南部之 Kerala (占供檢 301 品種之 10%), Tamilnadu (占供檢 514 品種之 4.7%), Anddhra Pradesh (占供檢 611 品種之 3.0%)，印度東北角之 ASSAM (占供檢 914 品種之 4.3%) 及斯里蘭卡 (占供檢 985 品種之 2.0%) (Heirichs et al. 1985; Ikeda 1993; Jackson 1997; Kush 1979; Sogawa 1977)。上述地區被認為是水稻與野生稻發源地之一 (Chang 1976)，水稻與野生稻長久以來交雜相處，水稻產生突變或與野生稻雜交產生新稻種，以及褐飛蝨之長期危害的選汰，可能是促使了該等地區之水稻較其他地區具有更豐富之抗性質體的重要因素。而東北亞及東南亞之保存稻種對褐飛蝨大多呈現感性反

應 (鄭 1973；Cheng & Chang 1979; Heinrichs et al. 1985; Kaneda & Kisimoto 1979; Kaneda et al. 1981)。

對白背飛蝨而言，經 IRRI 利用 SSST 方法篩檢出之抵抗性品種，絕大部分 (約占選出具抗性者之 88%) 源自巴基斯坦 (供檢品種之 10%)、尼泊爾 (3%)，以及印度 (2%) 等地區之傳統秈稻。源自印度地區者有 70%左右，分布於西北部喜馬拉雅山麓之半乾旱地區，另外 15%則分布於東北部 Assam 及 Meghalaya 乾旱地區；該等地區通常採行水稻與小麥輪作，兩種作物都是白背飛蝨的寄主植物 (Romena et al. 1986; Sogawa 2014)。從東亞及東南亞地區之保存稉稻或秈稻對白背飛蝨都呈現感蟲性反應 (Heinrichs et al. 1985)。

然而無論水稻對褐飛蝨或白背飛蝨的危害呈現抗性或感性反應，於各地區檢定結果並非完全一致，如在 IRRI 檢定顯示對褐飛蝨具抗性之水稻品種 Mudgo, ASD7 及 Rathu-Heenati 等，在印度許多地區卻呈現感性反應；相反地，在印度地區檢定呈現抗褐飛蝨品種，如 ARC10550 及 ARC14529 等在 IRRI 及東亞與東南亞地區檢定皆呈現感性反應 (Horgan et al. 2016; IRRI 1979; Sogawa 1977)。就印度半島境內不同地區之抗檢定所獲的結果亦不儘相同，如 Ptb19, Ptb21, Ptb33 及 Co9 等在 Pantnagar, Uttar Pradesh 對褐飛蝨都

呈現感性反應，但另外在 Coimbatore, Tamilnadu, Hyderabad, Andhra Pradesh 及 Joydebpur, Bangladesh 等地檢測則呈現抗性反應 (IRRI 1979)，顯示在印度半島的褐飛蝨族群中，含有可適應於抗性 (由不同抵抗基因所支配) 的水稻品種的個體，在面對不同的抗性寄主植物時，很快就可調適，發展出能夠適應於新抗性品種的族群。在印度半島各地區之褐飛蝨族群中，以分布於 Pantnagar 與 Uttar Pradesh 的褐飛蝨對南亞或東南亞各地區篩選出之抗性品種，如 IR26, Mudgo, ASD 7, Rath Heenati, Babawee, Ptb33 及 ARC 105502 等都具危害性，是為危害性最強的褐飛蝨族群。

與褐飛蝨相同，分布於南亞印度半島不同地區的白背飛蝨，對不同抗性水稻品種之反應亦不儘相同；在 IRRI 檢定篩選出之 118 個抗白背飛蝨水稻品種中，有 40 品種在印度 Hyderabad 與 Andhra Pradesh 都呈現感性反應；相反地，在篩選檢定品種中有 9 個品種，在 Hyderabad 呈現抗性反應，但在 IRRI 檢定卻呈現感性反應 (IRRI 1978)。在印度半島內，分布於各地的白背飛蝨對抗性水稻品種的反應亦不儘相同；如在 IRRI 及 Hyderabad 均呈現抗性之 17 品種中，有 8 品種對 Punjab (位於印度西北方與巴基斯坦毗連) 的白背飛蝨呈現感性反應；其後發現凡含有 *Wbph1* 抗蟲基因的水稻品

種在 Punjab, Pantnagar 及 Uttar Pradesh 檢定都呈現感性反應 (Gupta & Shukla 1986; Lal et al. 1983; Sogawa 2014)。這種現象表示分布於印度半島北方的白背飛蝨對水稻的危害性，顯然地較分布於東亞及東南亞地區者為高，這可能與 IRRI 在進行水稻抗白背飛蝨篩選時，呈現抗性者絕大都分部源自印度半島的西北部有關 (Sogawa 2014)。

IRRI 自 1967 年發現水稻抗褐飛蝨品種後 (Pathak et al. 1969)，跟隨著就進行水稻抗褐飛蝨與抗白背飛蝨的遺傳因子分析 (Athwal et al. 1971; Chen & Chang 1971; Kaneda 1971; Sidhu et al. 1979)，以及水稻抗褐飛蝨育種工作 (Khush 1971)。迄至 2009 年，IRRI 已有 21 個抗褐飛蝨及 8 個抗白背飛蝨的遺傳基因從抗性水稻品種及野生稻中鑑定出來，其中抗褐飛蝨遺傳因子 *Bph1*, *bph2* 及 *Bph3* 等，已廣泛地被應用於抗褐飛蝨育種，已育成 28 品種，被陸續釋出在東南亞地區栽植，其中含 *Bph1* 與 *bph2* 基因品種已被有害生物小種所瓦解，目前栽植者都以含有 *Bph3* 的品種為主，有若干品種對主要之病蟲害同時具有抵抗性 (Bar et al. 2009)。

(1-4) 害蟲抵抗性水稻育種

栽培對害蟲具有抵抗性的作物，可以減少作物遭受蟲害

嚴重危害的風險。在早期作物對害蟲具抗性的品種，是農民在田間經過多年的自然汰選，去除嚴重被害的感性品種而留下被害較輕者所獲得。有計畫大規模的從世界各地搜集保存稻種中，篩選出對標的害蟲具有抗性者供作育種材料，始自1960代國際水稻研究所。早期以抗二化螟蟲為主，已育成推廣之水稻品種有IR20, IR26, IR30, IR36, IR40, IR44及IR50等18品種 (Heinrichs et al. 1985)。1967年後至1990年代，褐飛蝨在亞太水稻栽培區肆虐發生危害，農民需多次噴灑農藥，始可免於遭受嚴重損失，抗褐飛蝨之改良水稻品種的培育，是為農民最高的期盼。

抗蟲性水稻育種，在傳統上是採用雜交法，以含有抗蟲基因之品種為父本，經改良之優質而不具抗性基因者為母本，F_1後代秧苗應用人工接蟲危害，淘汰無抗性者，殘存具抗蟲性者以單株栽培於田間，選擇農藝性狀較優者成立系統，進入 F_2 後代之抗蟲檢定及農藝性狀選拔，如此連續至F_3或F_4視情況而異，一旦所期望的農藝性狀穩定，即可申請命名推廣農民栽植。若水稻之抗蟲性係受數量遺傳因子所支配者，則在F_1以後需要經2~3次與父本回交，使新育成品系累積較多的微效基因，增強其抗蟲強度，較為費時費力。

抗蟲品種之培育除使用傳統的雜交育種外，近年來因分

子生物技術之進步，利用分子標誌輔助育種亦已逐漸蔚成風氣。抗性基因可用限制片段長度多態性 (restriction fragment length polymorphism，簡稱 RFLP)、增幅擴增長度片段多態性 (amplified fragment length polymorphism, AFLP)、簡單序列重複 (Simple sequence repeats, SSRs) 及簡單序列重複區間 (Inter-SSR, ISSR) 等標誌抗性基因在染色體上之基因座。就已知之抗褐飛蝨的 21 個基因中，有 15 個基因在不同染色體上之基因座已被辨識，有 8 個基因與分子標誌 (molecular markers) 呈現緊密地連結 (Brar et al. 2009)。

由於褐飛蝨的基因組 (genomics) (Noda 2009) 與水稻的基因組 (Brar et al. 2009) 最近已被解序，藉分子標誌輔助的選拔技術 (marker-assisted selection) (Jena & Mackill 2008) 以及水稻抗褐飛蝨的遺傳 (Fujita et al. 2009) 等之研究，皆已獲相當的進展，育種人員已能夠藉分子標誌技術之輔助，鑑定與精確地標示出水稻抗褐飛蝨的基因位置 (包含主效基因座 (major gene locus) 及數量性狀基因座 (Quantitative trait loci, QTL)，並可藉基因標誌選拔技術，可大量簡化傳統育種之繁複程序。此外育種人員亦可利用 DNA 圖譜 (DNA profiles) 與遺傳連鎖圖譜 (genetic linkage maps) 的技術，從野生稻的基因組評估新有用的抗褐飛蝨或其他害蟲的基

因，進而改善栽培稻的抗蟲性狀 (Brar et al. 2009; Fujita et al. 2009)。

另一方面，利用基因轉殖技術，將其他植物含對害蟲具有毒性，或生理障礙之物質的基因，如蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis*) 的 δ-內毒素基因 (δ-endotoxin gene) (Fuzimoto et al. 1993) 或大豆胰蛋白脢抑制素基因 (soybean kunitz trypsin inhibitor gene) (IRRI, 1994)，轉殖至水稻以增強對特定害蟲之抗性的品種。然而迄至現今，在臺灣尚未見有一藉基因標誌選拔之助，或基因轉殖技術育成之抗性水稻品種，推廣農民經濟栽培。目前許多民間團體或縣市政府積極鼓勵作物有機栽培，這可能是對傳統使用農藥治蟲所引起的反思，是一種進步的想法，但若作物沒有對主要病、蟲具有抗性品種作基礎，勢必遭受很大的害蟲危害損失風險。

(1-5) 作物對害蟲之抵抗性機制

作物抵抗害蟲的危害能力主要是受遺傳基因所控制，抵抗害蟲的原因，也就是所謂的抗性的機制 (mechanisms of resistance)，按 Painter (1951) 敘述，一般可分為抗生性 (antibiosis)、非偏好性 (non-preference) 或稱抗棲性 (antixenosis)、及容忍性 (tolerance) 等；每種作物品種對害

蟲的抗蟲性狀，可能受其中單一抗性機制或同時受多種機制聯合作用的表現，迄至目前為止，少有文獻詳細論述一種作物確切的抗蟲原因，有可能是受多種因素綜合作用的結果。爰將上述各種抗性機制在水稻對害蟲抗性所扮演的角色分述如下：

(1-5-1) 非偏好性

害蟲喜好或不喜好選擇某一特定寄主植物或是作物品種，在其上棲息、取食、產卵及繁殖，與害蟲之生活行為具密切關係。影響害蟲對寄主植物之非偏好 (nonpreference) 之因素，概略可區分為物理性及化學性兩大類：在物理性 (植物形態上的特性)方面，最顯著的例子是發現二化螟在各水稻品種上的產卵數與水稻的高度、葉面的光滑度、劍葉的長度、寬度及莖的大小等都與二化螟蛾的產卵數或被害程度呈正相關；然而葉面有細毛的水稻品種，雖然被產卵數較少，但將葉表面的細毛用刀片將之去除後，並沒改變其不被喜好產卵的特性；此外有若干為二化螟非常喜好產卵的水稻品種，在形態上與螟蛾不喜好前往產卵的品種者並無顯著的差別，表示僅僅是型態上的特性，並非完全是引導螟蛾喜好或不喜好前往產卵的唯一因素 (Pathak et al. 1970;

Patnakamjorn & Pathak 1967)。葉片散發出來的揮發性化學物質、反射光波，以及昆蟲的觸覺等亦常被提及與成蟲產卵的偏好性有關 (Pathak 1970)。

寄主植物組織所含化學物質的濃度或種類的差異，是影響害蟲是否喜好在該品種上取食的重要因素。害蟲取食行為通常包含三個步驟：寄主辨識、嘗試取食及持續取食，缺乏任何化學因素而使害蟲無法完成上述任一步驟者，都被類歸為非偏好的寄主植物 (Beck 1965)。

觀察支配褐飛蝨在若干抗性與感性水稻品種取食行為，發現無論對抗性或感性水稻品種，甚或是稗草，褐飛蝨首先是受這些植物的綠色及其所營造出來的潮濕環境所吸引，然後可能憑嗅覺感應，大多數到達水稻植株，在感性品種上者明顯地多於抗性品種或稗草上，但無論在水稻或在稗草上之褐飛蝨都可進行穿刺取食行為，惟在稗草上者成蟲甚少在其上產卵，若有產卵亦不能孵化，人工接上的若蟲體重減輕無法存活。褐飛蝨在感性品種上之取食時間、取食量極明顯地多於在抗性品種上取食者，卵的孵化率、若蟲的存活率以及成蟲的產卵量都極明顯的高於在抗性品種上取食者 (Saxena & Pathak 1979)。

於室內試驗，觀察褐飛蝨在一混合栽植抗性與感受性的

水稻品種上之取食偏好性，在接成蟲後數小時內，棲息在各供試品種水稻上的蟲數並無顯著差異，但在接蟲後 24 小時，就可發現於所有抵抗性水稻品種的植株上，褐飛蝨的棲息蟲數都極明顯地較棲息於感性品種者為少 (Cheng & Chang 1979)；但當抗性與感性水稻品種分開單獨接成蟲危害時，發現於抗性品種的葉鞘或葉片表皮上留下褐飛蝨的取食痕數 (feeding marks) 極明顯的多於感性品種上者 (Sogawa 1977)；在組織解剖上，並未發現有任何組織足以阻礙褐飛蝨的口針 (stylet) 自抗性品種之維管束的篩管中吸取養液；然而自抗性水稻植株上取食者，於口針穿刺進入葉鞘柔軟組織內所留下的口針鞘 (stylet sheaths) 之分支數，明顯地較自感性品種植株取食所留下者為多，顯示在抗性水稻上取食時，可能因篩管內所含之物質缺乏刺激褐飛蝨取食之要素 (sucking stimulants)，致使害蟲需要一再的探搜適於其取食部位，而留下更多的取食痕與多分支的口針鞘。實際上自抗性品種水稻的取食量 (取食量與蜜露分泌量) 具密切相關，通常利用蜜露分泌量推測取食量 (Sogawa 1970) 卻極明顯少於在感性品種上取食者 (鄭 1973, 1976；Sogawa 1976, 1977, 1992)。

為探究可能影響褐飛蝨 (biotype 1) 喜好取食之重要因

素，分別測試褐飛蝨在含有不同氨基酸 1%水溶液，或在 20%蔗糖+1%氨基酸之水溶液的培養基取食後之蜜露的分泌量，結果發現天門冬酸 (aspartic acid)、麩胺酸 (glutanic acid)、丙胺酸 (alarine)、醯胺天門冬酸 (asparagine) 及纈氨酸 (valine) 等對褐飛蝨取食具有明顯的促進作用，尤以前兩種之促進作用最為顯著；另一方面 phenethylamine, tyramine, hordenine 及 chlordimeform 等對褐飛蝨取食，則具有阻礙作用 (Sogawa 1977)。

比較褐飛蝨 (biotype 1) 在具抗性之水稻品種 mudgo (含 *Bph1* 基因) 與感性品種 TN1 (無含抗性基因) 水稻的篩管內，氨基酸種類及含量之差異，顯示於抗性品種 mudgo 所含之氨基酸 asparagine 之比例極明顯的較感性品種 TN1 者為少；如上面所述，褐飛蝨雌成蟲對該氨基酸具有很強的取食誘引性，可見低含量之 asparagine 可能為褐飛蝨較不喜好在 mudgo 取食的重要因素 (Sogawa & Pathak 1970)。然而其後繼續研究發現，在對褐飛蝨呈抗性及感性之近等基因品系 (near isogenic lines) 各種氨基酸含量，在品系之間的變異差別並不明顯，顯示假設 asparagine 為支配水稻抗性品種之抗性機制，並不切實際 (Sogawa 1982)。其後進一步試驗發現，由抗性品種 mudgo 植株的新鮮葉鞘可分離出高含量的草酸

(oxalic acide)，草酸可以和鉀及納元素結合成草酸鹽，致使褐飛蝨口針吸管受到阻塞，影響褐飛蝨之存活率 (Yoshihara et al. 1980)。檢查 28 品種水稻，雖然品種間之生鮮葉鞘的有機酸的濃度都很高 (4.1~4.7 mg/g)，但含草酸的濃度卻有很明顯的差異；感性品種的所含的濃度為 0.18 mg/g，抗性品種所含草酸濃度平均由 0.34~0.45 mg/g (Yoshihara et al. 1979)。此項發現是否為水稻抵抗褐飛蝨唯一的確切因素，以及草酸在篩管內汁液的濃度需達到何種程度，才能對褐飛蝨產生抗性，有待繼續觀察。

(1-5-2) 抗生作用

抗生作用 (antibiosis) 指寄主植物含有對害蟲之生存、發育及繁殖具有阻礙因子者。對害蟲之作用可表現於高度的死亡率、幼蟲生長遲緩、不良、成蟲壽命減短、產卵量及卵的孵化率下降等現象。作物對害蟲具抗生作用之最大優點，是可以快速地降低害蟲的族群密度；缺點是較容易導致害蟲產生有害生物小種，使原來寄主植物之抗性作用為之瓦解 (鄭 1975)。

作物對害蟲的抗生作用的機制相當複雜，一般可以區分為生物物理因 (biophysical factors) 及生物化學因素

(biochemical factors) 兩大類 (Beck 1965)。前者是因植物組織結構不適於害蟲產卵或生存，或因組織被害蟲危害後產生過敏反應而壞死，限制了害蟲的活動及取食範圍，終至死亡。如稻桿較細之水稻品種，因維管束排列較密集，維管束間隙較小，使二化螟幼蟲較難蛀入稻稈內危害，即使侵入，亦因稻稈內空間細小，限縮幼蟲成長活動空間，終致發育不良而導致死亡，或因而影響成蟲發育及其產卵數量；稻桿內的含有 4~5 層厚壁細胞組織 (sclerenchymatous tissue) 亦同樣有可能阻礙幼蟲之蛀入莖內危害，降低水稻之被害率 (Pathak et al. 1971; Van & Guan 1959)。此外如水稻組織細胞的矽含量亦被認為與水稻抗二化螟具密切相關 (Djamin & Pathak 1976)；水稻品種含矽成分較高者，可以增高幼蟲大顎之磨損而降低取食量，亦可能導致幼蟲死亡率增加，為降低水稻被害率因素之一 (Pathak et al. 1971)。

生物化學之抗生作用又可分為兩個項目：(a) 寄主植物含有對害蟲之生理具有阻礙之物質 (physiological inhibitors)，對害蟲具有毒性或阻礙其生長；(b) 寄主植物缺乏害蟲生長或增殖所需之營養物質 (nutritional deficiencies)，或雖然含有所需之物質但害蟲卻無法利用者 (Beck 1965; Painter 1951)。就以往研究發現，除前面所述之

草酸因素外，如日本稉稻遭受白背飛蝨產卵會產生過敏反應，被產卵部位呈現水浸狀褐化斑痕，斑痕內似水的物質，經萃取分析，鑑定為含有安息香酸甲苯 (benzyl benzoate)，對卵胚胎之發育具有抑制作用，使卵不能孵化 (寒川 2003；Seino et al. 1996; Suzuki et al. 1996)，因此日本稉稻鮮少受白背飛蝨嚴重危害；但秈稻及中國雜交稻遭受白背飛蝨產卵後並不會產生過敏，影響卵的孵化率，可能是該類品種水稻常遭受白背飛蝨嚴重危害的重要因素。臺灣之稉稻有許多品種含有秈稻特性之遺傳基因，對白背飛蝨產卵是否會產生過敏，有待觀察。

就試驗層面而言，當類歸為抗褐飛蝨水稻與感性水稻混合栽植時 (有選擇情況)，在抗性品種植株上聚集棲息取食蟲數，極明顯地多於在感性品種者，顯示對抗性品種的非偏好性；但當不同品種的植株分別接入褐飛蝨時 (無可選擇情況)，在抗蟲品種植株上只有少數若蟲可發育至成蟲、發育期延長、蟲體較小，且取食量顯著地少於在感性品種上取食者，對害蟲的抵抗機制顯然是屬於抗生性者。因此抗性品種之抵抗機制是非偏好或抗生性並無法明確地加以區分 (鄭 1973；Cheng & Chang 1979; Pathak et al. 1969; Pathak & Khush 1979)。

(1-5-3) 容忍性

作物遭受害蟲危害的容忍 (tolerance) 能力，亦為作物對害蟲的抵抗性狀之一，此種性狀是指當害蟲的族群密度達到足以致使感性品種嚴重被害時，容忍性品種仍然具有生長或補償被害能力，以減少蟲害的損失 (Painter 1951)。栽培容忍性品種雖然無法直接降低害蟲的族群密度，但卻可以招引更多的天敵前來寄生或捕食，以降低害蟲密度。栽植高容忍性作物品種，因對害蟲無選汰壓力，害蟲不致產生有害生物小種，而且害蟲的經濟危害基準可以提高，減少藥劑使用頻率，是危害蟲綜合管理的理想元素 (Headley 1972)。

然而在使用水稻對褐飛蝨抗性之篩選，通常採用盤栽秧苗人工接蟲危害方法實施，在接入害蟲 12 小時後，害蟲逐漸由抵抗性強的品種秧苗遷移至感性或中等抗性品種上危害，導致具中等抗性以下的品種，含容忍性品種水稻，都遭受嚴重危害而被陶汰。若將水稻抗性篩選工作延至水稻分蘗生長期 (在秧苗移植後 30 天左右) 實施，則具有中等抗性，含容忍性品種之被害等級就很容易與感性品種區分 (鄭 1985；Ho et al. 1981; Panda & Heinrichs 1983)，顯示容忍性品種對褐飛蝨危害之容忍度隨植株的成長而增強，其對害蟲的

抗性是在種植於田間成長至一定生長期才顯示出來，所以又被稱為「田間抗蟲型品種 (field-resistant varieties)」或「成株抗蟲型品種 (adult-plant resistant varieties)」。

Utri Rajapan 和 Triveni 是常被提及的兩個對褐飛蝨危害具有容忍性品種，Utri Rajapan 是印尼的傳統栽培稻品種，後者是印度的傳統栽培稻品種，兩品種在國際水稻研究所以 7 日齡秧苗對褐飛蝨危害之抗性檢定都類歸為感蟲級，但以 20 日齡以上的水稻在網室或田間試驗都呈中等抗性反應，顯示具有田間抗性的特性 (鄭 1985；Ressells 1978)，且對褐飛蝨生物小種 1、生物小種 2、生物小種 3 及南亞各地褐飛蝨族群之危害，都呈現抗至中等抗性等級反應 (Panda & Heinrichs 1983)，其中 Utri Rajapan 對白背飛蝨、皺縮矮化病 (ragged stunt) 及東格羅病 (tungo virus) 亦具田間抗性 (Medrano et al. 1987; Panda et al. 1984)。

測試褐飛蝨在不同生長期之感性品種 TN1 與容忍性品種 Utri Rajapan 及 Triveni 上之存活率與族群增長並無顯著差異，表示兩種容忍性品種之抗蟲機制以具較強的容忍的特性最為重要。試驗顯示在秧苗期遭受褐飛蝨嚴重危害，當感性稻種 TN1 完全枯萎時，Triveni 之光合作用活動仍能持續進行，產生新分蘖株；在田間分別於移植後 35, 55 及 75 天，

每 10 叢稻接入 400 隻 2-3 齡若蟲危害 6 週，於收穫期比較處理區與對照區 Triveni 與 TN1 之乾物重、分蘗數、穗數及株高等差異，顯示感性品種 TN1 在供試的 3 個齡期，處理區都明顯地低於無處理區，但在容忍性品種 Triveni 則處理間差異極小；TN1 於移植後 35 天，每叢稻接若蟲 100 隻以上，於收穫前 1 週觀察，被害等級均在 7.0 以上之感性級，而在 Triveni 上當每叢接 100, 200 及 400 隻若蟲，被害等級都屬 5~7 之中等抗性等級，產量損失分別只達 20, 26 及 44%，與感性品種之 30, 55 及 99%差異相當明顯 (Ho et al. 1980, 1982)。

分析容忍性水稻品種 Utri Rajapan 及 Triveni 對褐飛蝨之抗性遺傳，由容忍性品種與感性品種 TN1 雜交之 F_1, F_2 及 F_3 後代族群，對褐飛蝨危害反應分離顯示，兩個容忍性品種的抗性都受兩個各自獨立的隱性基因所控制。雜交上述兩種容忍性品種測試基因之對偶性，顯示兩品種是受相同基因所支配 (Velusamy et al. 1987)。

(1-6) 有害生物小種

生物小種 (biotypes) 是指一種害蟲在族群內之個體間，在外部形態上並沒有明顯差異，但對作物品種組織內含有不同成分物質之生理反應，卻有極明顯的差別的個體或蟲

群 (Painter 1951)。此種現象顯示族群內個體間之生理受不同遺傳基因所支配。因此當害蟲在大面積種植的作物，具有相同的抗性遺傳基因時，大多數害蟲個體無法存活而被淘汰，少數能存活下來者，經一段時間的繁殖後就可取代原來的族群，成為新的生物小種，或稱為有害生物小種 (virulent biotype)。此一有害生物小種具有能力危害含有與該栽植中之抗性品種相同之抗性基因的其他品種。

「生物小種」一詞，最早出現在種植抗麥癭蠅小麥的過程中，發現控制抗性小麥品種的基因，與有能力危害抗性品種之麥癭蠅生物小種的基因之間的關係是呈現基因與基因的關係 (gene for gene relationship)；換句話說，如發展一品種由單主效抗性基因 (single major gene) 所支配之小麥品種以對抗麥癭蠅的危害，則麥癭蠅就可能發展出一種由單主效基因所支配，有能力危害該含有抗性基因之小麥的生物小種 (Gallun & Hatchatt 1968; Gallun & Reitz 1971; Hatchett & Gallun 1970)。此一現象後來亦在若干作物，如苜蓿、覆盆子、小麥、玉蜀黍及豌豆等，因分別含有抗蚜蟲之單主效抗性基因，於栽植抗性品種後可防治蚜蟲之危害，但經一段時間後，蚜蟲可產生有能力危害抗性作物品種之單主效對抗基因的有害生物小種，而導致原抗性品種之抗蟲性狀為之崩潰

(Briggs 1965; Nielson & Don 1974; Painter 1951; Pathak 1970)。

為了解這種基因對基因的關係，是否亦存在抗性水稻品種與褐飛蝨之間？從文獻得知對褐飛蝨而言，TN1, Mudgo 及 H105 (or ASD7) 等水稻品種，分別為沒有含抗性基因、含有 *Bph1* 基因及含有 *bph2* 基因；將田間採集得之褐飛蝨成蟲，在昆蟲飼育室內分別將之連續飼育於 TN1, Mudgo 以及 H105, ASD7 等品種。在連續飼育於抗性水稻品種上者，於接蟲後的 3~5 世代內，若蟲的死亡率甚高，但之後，存活率逐漸上升，至連續繁殖十數世代後，其存活率就幾乎與飼育於 TN1 品種上者相同，並導致原來呈現抗性之水稻品種遭受嚴重危害 (鄭 1975；Cheng 1979)。同樣試驗結果亦在國際水稻研究所發現 (IRRI 1975; Pathak & Heinrichs 1982)，並分別命名為 biotype 1, biotype 2 及 biotype 3。biotype 1 (生物小種 1)，此褐飛蝨生物小種是為當時田間採集占優勢的生物小種，只能在感性品種，如 TN1 水稻上生存而不能在含有 *Bph1* 如 mudgo 或 *bph2* 如 H105 (或 ASD7) 水稻上生存與繁殖；而 biotype 2 (生物小種 2) 則可在 TN1 與 Mudgo 水稻上生存繁殖，但不能在 ASD7 水稻上生存繁殖；biotype 3 (生物小種 3) 則可在 TN1 和 ASD7 生存危害，但不能在 Mudgo 品種水

稻上生存。

將三種 biotype 相互雜交，並將 F_1, F_2 及各組雜交之 BC_1 及 BC_2 的後裔分別飼育於 Mudgo 與 H105 或 ASD7 水稻上，檢視其存活率，並分析其遺傳行為，顯示褐飛蝨可存活於抗性品種的遺傳，係受數量遺傳因子所支配 (polygenic inheritance)；顯性效應為支配生物小種褐飛蝨不能在抗性品種存活之主要因素 (Cheng 1983, 1985; Sogawa 1981)；例如以雜交後裔不能在抗性水稻品種的存活能力為評判依據，biotype 1 對 biotype 2 或 biotype 3 都呈現部分顯性 (partly dominant) 效應，顯示使用感性與抗性水稻品種輪流種植，或混合種植的栽培方式，都可能緩和能危害原本具抗性水稻之褐飛蝨新生物小種的產生 (Cheng 1983)。但此一結果顯然與上述小麥與麥癭蠅之基因對基因關係的理論並不相吻合，因此有學者認為將有能力與否在含有不同基因之抗性水稻品種上取食、生存繁殖、及危害的褐飛蝨，命名為不同生物小種的名稱，頗為存疑 (Claridge & Den Hollander 1980)。然而迄至目前，由於褐飛蝨是否有能力在含有不同抗性基因水稻上取食危害，只能使用含有不同抗性基因之鑑別水稻品種來區分，廣義上使用「生物小種」一詞應無不妥。

如上面所示，將田間採集之褐飛蝨族群，在昆蟲飼育室

內連續飼育於含有單主效抗性基因之抗性水稻品種，經十數世代後就能完全適應於該抗性品種上生存，顯示原本存在田間之褐飛蝨的自然族群，是一個含有多種生物小種的混合群體，各生物小種受不同的遺傳基因所支配。有能力危害推廣栽培中之抗性品種的生物小種，在原族群中所占比率可能很低，但經栽植抗性品種的壓力選汰，使少數能生存於原來之抗性品種者，獲得較多的自交的機會，逐漸形成一個占優勢的生物小種，取代原來在族群中占優勢，而不能危害抗性品種的生物小種；此一新占優勢並有能力危害原來之抗蟲品種的生物小種，是為一般所謂的有害生物小種 (virulent biotype)。

在田間，上述之有害生物小種的興起與水稻抗性品種的崩潰，於 1973 年在東南亞同一地區大面積連續種植由單主效抗性基因 (single major gene) *Bph1* 所支配之抗性品種 IR 26，種植 2~3 年後，褐飛蝨就連續在菲律賓 (Varca & Feuer 1976)、印尼 (Harahap 1979) 及越南 (Huynh 1977) 等地產生有害生物小種 biotype 2，嚴重危害原來具有抗性的水稻 IR 26；在此情況下，當地農民只好更換由另一種含有抗蟲基因 *bph2* 之抗性品種 IR36 與 IR42 取代 (Khush 1979)，才能對抗褐飛蝨有害生物小種的危害。但同樣情況於 1982 年，含有

bph2 之抗性品種又被新產生的有害生物小種 biotype 3 而瓦解，於是國際水稻研究所又陸續推出含有抗性基因 *Bph3* 之水稻品種 IR56, IR60, IR62, IR68, IR72 及 IR74 等供東南亞地區國家栽培，但在泰國已發現含有 *Bph3* 基因之改良稻種也被新有害生物小種所瓦解 (Bar et al. 2009)，驗證了寄主的抗性由單主效基因所支配者易被危害蟲所適應，產生所謂之寄主植物之抗性基因與害蟲之適應基因出現之惡性循環 (寒川 1992；Pathak & Heinrichs 1982)。另據 Phuong et al. (1997) 報告，在越南南部田間之褐飛蝨族群可交叉危害含有 *bph*5, *Bph*6, *bph*7, *bph*8 及 *Bph*9 基因等尚未展開育種之水稻品種；也有指出褐飛蝨可以同時適應於含有 2 至 3 種抗褐飛蝨基因的水稻品種 (Nemoto & Yokoo 1994; Sogawa 2014)。

從上述事例推測，褐飛蝨在含有新抗性基因品種大面積密集栽植後，很快就能產生有能力在該品種，甚或含有其他基因品種水稻上取食危害。有學者認為褐飛蝨在遭受寄主的壓力後，很快地可以藉由基因重組資以適應新的抗性品種，因此以現行採用的盤栽秧苗人工接蟲危害方法篩選出之抗性品種，都可能被新產生的生物小種所克服而瓦解 (Sogawa 2014)。由於褐飛蝨是否有能力在抗性水稻品種上生存是受數量因子所支配 (Cheng 1983; Sogawa 1981)，在田間的族群內

的個體間，其實個體間基因組合可能就有很大差異，當遭受新抗性品種的壓力時，無法適應者消失，能適應者經大量繁殖後就可取代原有之生物小種。

為對抗有害生物小種的產生而縮短辛苦育成之抗性品種的栽培壽命，Khush (1979) 提出下列 4 種對策資以對應：

(1-6-1) 連續地釋放由單主效基因所支配的抗性品種

此一策略是將各種單主效基因分別與經改良的水稻品種結合，於需要時陸續釋放給農民栽植，待含有某一抗蟲基因的水稻品種，被有害生物小種適應而失去抗性作用時，再釋放出含有另一抗性基因的水稻品種資以對抗。此種策略是小麥抗性品種對付小麥癭蠅有害生物小種產生時一貫採用的策略 (Foster 1977; Gallun & Hatchett 1968; Hatchett & Gallun 1970)。

(1-6-2) 堆疊單主效抗性抗性基因

一般認為將兩個或以上的單主效抗性基因堆疊在同一改良品種，可能較不易產生有害生物小種，而延長抗性水稻品種的栽培壽命。就目前已解析之抗褐飛蝨基因，由於 *Bph1* 和 *bph2* 基因與 *Bph3* 和 *bph4* 基因皆呈現緊密的遺傳連鎖

(genetic linkage)，但 *Bph1* 和 *Bph3* 或 *bph4*，與 *bph2* 和 *Bph3* 或 *bph4* 皆無連鎖而各自獨立分離，可以堆疊於同一品種，藉以對抗或緩和有害生物小種之產生 (Bar et al. 2009)。截至目前為止，雖然在水稻及野生稻中已被確認抵抗褐飛蝨的基因有 21 種，傳統稻種利用 SSST 法 (即盤栽秧苗，人工接若蟲危害方式) 篩檢 (Heinrich et al. 1985)，具抗蟲性者絕大多數來自印度南部及斯里蘭卡 (Brar et al. 2009; Pathak & Kush 1979)；抵抗白背飛蝨的基因有 6 種，且大多數來自巴基斯坦 (佔篩檢品種之 10%)、尼泊爾 (3%) 及印度北方 (2%)，而東亞與東南亞地區之稻種對兩種飛蝨均呈感性 (Brar et al. 2009; Romera et al. 1986)。無論對褐飛蝨或白背飛蝨之抵抗性，經 SSST 法篩檢出之抗性大都是受單主效基因所支配。在有若干抗褐飛蝨水稻品種中，如 Ptb33 (含 *bph2* 與 *Bph3*), Rathu-Heenati (含 *Bph3* 與 *Bph17*(t)) 和野生稻 *Oryza officinalis* (含 *Bph6* 與 *Bph13*), *O. minuta* (含 *Bph20* 與 *Bph21*) 含有兩個抗蟲基因。抗蟲性受兩個以上基因所支配者，被認為較不易為褐飛蝨適應，以該等抗蟲品種為抗蟲育種親本，一般較有可能選出可持久、穩定性較高的抗蟲稻種 (Brar et al. 2009)。

(1-6-3) 應用多品系品種

多品系品種 (multi-lines variety) 是指由近等基因品系 (near isogenic lines) 所組成的品種。所謂近等基因品系是指品系間除特定基因 (如對害蟲的抗性基因) 有差異外，其他農藝性狀近似之品系謂之。已知褐飛蝨是否能危害抗性品種是受數量因子所支配，而褐飛蝨生物小種 1 號 (只能危害感性水稻品種而，不能危害含有任何抗基因的水稻品種) 對褐飛蝨生物小種 2 號或 3 號呈現部分顯性遺傳 (partial dominance)，於網室內試驗顯示，混合栽植含有 *Bph1*, *bph2* 及沒有含抗性基因之水稻品種，可緩和褐飛蝨有害生物小種的產生 (Cheng 1983)；然而在田間環境下是否能產生相同效果，有待觀察。

(1-6-4) 應用水平抵抗性品種

作物抵抗病害或蟲害的遺傳方式，一般可分為垂直式抵抗性 (verticle resistance) 與水平抵抗性 (horizontal resistance) 兩大類；垂直式抵抗性指其抵抗性受單基因 (single major gene) 所控制，抗性較強，但較易汰選出有害的生物小種，而失去抗性。水平抵抗性 (又稱橫式抵抗性) 則指其抵抗性是受數量的微效基因所支配 (polygenic

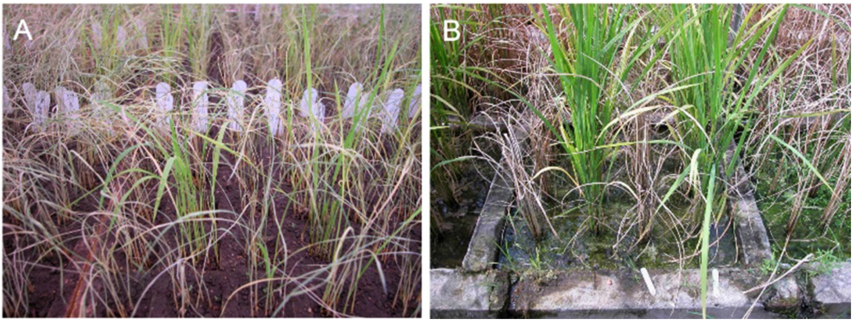
inheritance)，其抗性一般屬於中等抗性，抗性強度隨植株成長而增強，不易產生有害生物小種，可以維持較持久而穩定的栽培。然而以傳統式的雜交方式，將傳統稻的數量微效基因轉移至已改良的水稻，需經多次和父本回交與雜交後代之抗性篩選，頗為麻煩、費時，常為多數育種者所規避，迄至目前除水稻抗二化螟外，尚少有全由數量因子所支配之抗性水稻出現 (Pathak et al. 1970)。然而 Sogawa (2014) 指出如 IR36 (含 *bph2*) 與 IR64 (含 *Bph1*) 兩種褐飛蝨抵抗性品種，在田間於其他含有相同之主效抗性因子都遭受嚴重危害時，這兩品種只遭受輕微的危害，顯示具有較強的容忍特性，可能除主效抗蟲因子外，尚含有未驗出的微效因子。同樣現象亦常在以 mudgo (含 *Bph1* 抗蟲基因) 作為水稻抵抗褐飛蝨抗性篩檢的抗蟲等級之對照品種時，當同樣含 *Bph1* 之其他品種都被害枯萎時，它仍然呈現中等抗性，顯然亦似含有微效抗性基因的可能性。同樣現象亦發現於 IR36 及 IR42 兩個姊妹品種中均含有 *bph2* 抗褐飛蝨基因且來自相同的親本 PTB18 及 PTB21 (均含有 *bph2*)，當兩品種於 1976~1977 年間同時釋放推廣於取代 IR26 後 5 年，褐飛蝨新有害生物小種 3 已可以在 IR36 與 IR42 取食危害，但對已可導致 IR42 被危害之生物小種，IR36 仍呈現中等抗性 (Sogawa et al.

1984)，室內試驗亦證明在連續飼育 5 年，褐飛蝨即可完全適應生長於 IR42，但連續飼養在 IR36 上達 30 世代，仍不能完全適應，顯示除主效基因外，IR36 應尚含有若干未被檢出之數量微效基因 (Sogawa et al. 2014)。由上述現象顯示，利用 SSST 檢定雖可快速檢定大量水稻品種及龐大之雜交後代的抗蟲性，但對由數量微效基因所支配之中等或微抗性品種，則完全被遺落，引起多位學者的批評。由上述現象顯示，將現有含主效抗性基因品種與含有數量微效基因品種雜交，以產生含數量基因之抗性品種似較為容易。

(1-7) 臺灣水稻對害蟲之抵抗性研究

臺灣水稻品種對害蟲危害的感受性差異，雖早在 1917 年 Shiraki 研究三化螟對水稻的危害時就被發現 (Shiraki 1917)，惜並未進一步進行抗蟲育種工作，其後直至 1960 年代以後，始再陸續進行水稻對三化螟、二化螟、負泥蟲、稻細蟎 (*Steneotarsonemus spinki*)、黑尾葉蟬、斑飛蝨、白背飛蝨及褐飛蝨之抗蟲性篩選觀察 (鄭 1991)，雖發現品種間被害程度有明顯差異，但只有水稻對褐飛蝨抗性研究較為深入並進入抗蟲育種階段 (周與鄭 1971；鄭 1973；鄭 2003；Chang & Chen 1971; Cheng & Chang 1979)。

水稻抗褐飛蝨、白背飛蝨、斑飛蝨及黑尾葉蟬等之抗蟲性篩選，是採用國際水稻研究所 (簡稱 IRRI) 所發展之 SSST 法進行；對高級品系則除採用 SSST 法外，另在網室內栽植水稻，於水稻種植後約 30 天後採用人工接入少數成蟲，讓其自然選擇水稻品種產卵、繁殖危害檢定，是所謂的「田間抗蟲型」水稻篩檢 [Field (or adult plant) resistance screening test] (鄭 1985) (圖二十八)，使用秧苗人工接蟲危害檢定法可快速大量篩檢具有抗性之保存的稻種，以及龐大數量之雜交後代品系。然而應用此方法選出之抗蟲者，大多是憑藉害蟲取食的偏好姓 (feeding preference) 所呈現的結果，而未能如褐飛蝨在自然情況下取食，除寄主偏好性外，寄主對害蟲的抗生性 (antibiosis) 與容忍性 (tolerance) 的抗蟲性狀大多無法顯示而被忽略，因此由 SSST 方法篩選出之抗性品種的遺傳因子分析，亦多為單主效基因 (major monogenie) 所支配。



圖二十八、水稻對褐飛蝨危害抵抗性篩檢：室內盤栽秧苗人工接蟲篩檢 (A)，網室水泥槽栽培水稻於 30 日齡成株水稻接蟲篩檢 (B)。

表二、台灣育成水稻對褐飛蝨、白背飛蝨及斑飛蝨抵抗性品種

品　種	褐飛蝨	白背飛蝨	斑飛蝨	品　種	褐飛蝨	白背飛蝨	斑飛蝨
台農 68 號	MR	S	S	嘉農秈 11 號	R	R	R
台農 69 號	R	R	MR	台中秈 3 號	S	MR	R
台農 70 號	MR	MR	S	台中秈 5 號	S	MR	R
台農 72 號	R	S	R	高雄秈 7 號	R	S	S
台農 84 號	R	R	R	台農秈 12 號	R	-	R
台稉 1 號	MR	-	-	台農秈 22 號	R	S	M
台稉 2 號	MR	MR	S	台中秈 10 號	MR	S	R
台稉 5 號	MR	S	S	台南秈 15 號	S	S	MR
台稉 13 號	MR	S	S	台中秈 16 號	MR	R	R
台稉 16 號	R	R	R	台農秈 14 號	R	MR	R
台東 30 號	R	MR	S	台農秈 18 號	R	MR	MR
台南糯 10 號	R	S	S	台農秈 19 號	R	MR	R
高雄 144 號	S	MR	S	台中秈 17 號	R	S	MR
桃園 3 號	S	MR	MR	台農秈 20 號	R	S	R
台南 11 號	MR	MR	R	台秈 1 號	MR	S	R
台農糯 73 號	MR	MR	MR	台秈 2 號	MR	S	MR
台東糯 31 號	MR	MR	MR	台農秈糯 2 號	R	S	MR
台中秈 2 號	S	S	MR	台中秈糯 1 號	R	MR	R
嘉農秈 6 號	S	R	R	台農秈 22 號	MR	S	MR
嘉農秈 8 號	S	MR	R	高雄秈糯 8 號	MR	MR	MR

1) R：強抗等級，MR：中抗等級，S：感蟲等級(無抗性)

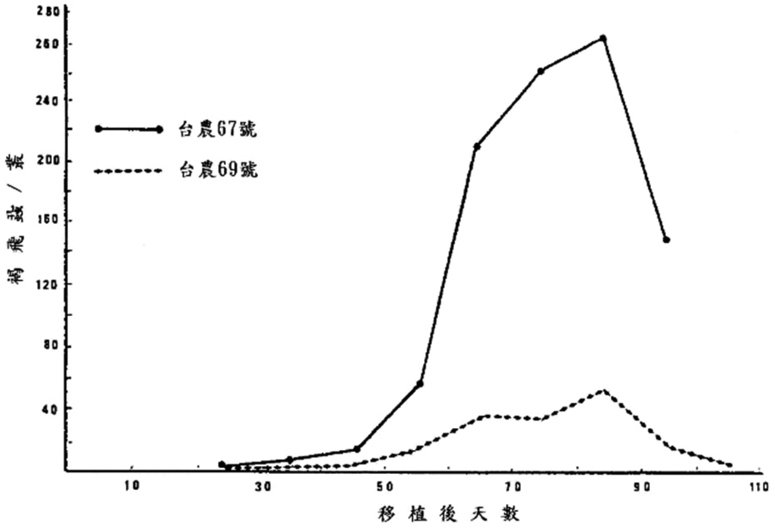
2) 表中褐飛蝨的抗蟲性係使用第一型生物小種褐飛蝨檢定的結果

臺灣以往保存稻種1,906品種 (含稉、秈、糯及陸稻)，對褐飛蝨均呈現感蟲性，經自國際稻米研究所引入之抗蟲稻種為親本，進行抗蟲育種，篩檢第一個抗褐飛蝨的秈稻品種嘉農秈11號及稉稻品種台農68號，分別於1973與1982年命名推廣；至2011年，已育成推廣具抵抗褐飛蝨品種已達45種 (表二)，其中台農68號、台農70號、台農72號、台稉2號、台稉16號、台農84號及台中秈10號、台農秈20號、台農秈22號等抗褐飛蝨品種都曾被列為良質米品種，可見水稻之抗蟲性與稻米品質之改良可並行不悖。此外在抗褐飛蝨水稻品種中，有11品種同時對白背飛蝨亦呈抗性，有13品種同時對斑飛蝨亦有抗性，而同時對褐飛蝨、白背飛蝨及斑飛蝨等都具抗性者有台農69號、台稉16號、嘉農秈11號，台中秈16號、台農秈14, 18, 19號，及台中秈糯1號等品種 (表二) (鄭 2008)。

栽植抗褐飛蝨之性狀較強的水稻品種，如台農 69 號、台稉 16 號或台農 84 號等可以完全有效地抑制褐飛蝨之族群增長 (圖二十九)，中等抗性品種如台農 68, 70 及 72 號，在褐飛蝨發生比較緩和之年，當感蟲品種 (台農 67 號) 遭受危害產生「蝨燒」時，可避免遭受嚴重的危害 (圖三十)；在褐飛蝨發生嚴重時，至少亦可減少一半以上的藥劑處理次數 (鄭 2003)。栽植中等抗性品種可以殘存少數害蟲個體，較抗

性較強的品種有利於保留害蟲的天敵於田間，藉以同時抑制飛蝨類及其他害蟲的族群增長。由於栽植對害蟲具抗性的水稻品種，可以和其他任何防治害蟲措施併同實施而不相抵觸，被認為是實施害蟲綜合管理最重要的基石 (Cheng 1982; Heinrichs 1994; Kiritani & Naba 1994; Painter 1958; Pathak 1977)。

然而由於褐飛蝨、白背飛蝨及斑飛蝨等都為亞太地區遷移性害蟲，每年隨著季節風之進展，於春夏之交，由終年繁殖區往東北方向遷徙，於秋季再由東北往西南方向回遷。北



圖二十九、褐飛蝨在抗蟲水稻品種台農 69 號與感蟲品種台農 67 號上之族群增長差異。(鄭 2003)

圖三十、在無藥劑處理情況下抗蟲水稻品種台農 70 號 (A) 與
感蟲品種台農 67 號 (B) 遭受褐飛蝨危害之差異比較。

往南來的過程中，外地褐飛蝨，因連續大面積種植由同一抗性基因所支配之抗性品種，而導致產生之有害生物小種時，難免亦可遷入臺灣。臺灣過去所育成之抗褐飛蝨水稻品種，多與東南亞及東亞國家一樣含有 *Bph1* 或 *bph2* 之抗性基因。在東南亞地區，含有這兩種抗性基因之稻種，分別於 1980 年代與 1990 年代中就因產生有害生物小種而崩潰 (寒川 1992)，臺灣含有這兩種基因之稻種亦於 1990 年代之初、後期相繼為有害生物小種褐飛蝨所瓦解，只剩下台農 69 號 (含有 *Bph3* 基因) 仍然具有抗蟲性，惜因農藝性狀較差，非為

農民喜好之稻種 (鄭 2003)。目前在東亞與東南亞許多國家都已栽植含有 *Bph3* 或 *bph4* 基因之抗性稻種，並積極朝向抗蟲性由數量遺傳基因所控制之方向進展，其中在國際稻米研究所已育成許多品種同時對多種水稻病害及害蟲具有抗性的品種 (Brar et al. 2009)。我們期望在不久的將來，臺灣亦會有穩定性較持久的抗褐飛蝨及可以抗多種主要病、害蟲的品種出現 (李等 2011；Brar et al. 2009; Fujita et al. 2009)。

(2) 調整田間管理

危害水稻的主要害蟲，絕大多數屬於半水性昆蟲 (semiaquatic insects)，喜好溫暖潮濕的環境，因此在水稻栽培過程中，如何降低稻田的濕度，以減少害蟲的入侵棲息及繁衍，就被認為可以降低害蟲族群的另外一種重要途徑 (Litsinger 1994)。除水稻品種本身多分蘖的特性外，密植及氮肥施用過量，都可增加水稻株、葉的茂盛程度，進而妨礙稻田之通風及日照，因而增高稻田的濕度。在水稻生育早期就營造害蟲偏好之隱密潮濕的環境，可能引誘較多的害蟲前來棲息、產卵繁衍，增加水稻在生育中、後期遭受害蟲嚴重危害的機率。茲將可能影響害蟲發生較為明顯的有關的耕作項目，分別敘述如下：

(2-1) 水稻種植時期

水稻插秧期最好避開害蟲的主要遷入期，尤其是在第二期稻。從過去 50 年來，遷移性害蟲一直是臺灣第二期水稻最重要的害蟲，6~7 月為主要遷入期，其中 7 月份因適逢長江以南大多數地區的第一季水稻進入收穫期 (杜 1991)，遷移性害蟲大量遷出，是為遷移性害蟲遷入臺灣的高峰期，8 月上旬後遷入蟲數，因大陸華中以南地區水稻尚處於分蘖初期或插秧期，遷入臺灣的蟲數急速下降 (參閱圖五與圖六) (鄭與黃 2004；鄭與盧 1990)。因此若能延至 8 月上、中旬插秧，則可避開遷移性害蟲之主要遷入時期，而降低遭受嚴重危害的風險。

(2-2) 水稻種植的行株距

水稻種植的行株距隨時代而有變動，日據時期推行 8×8 台寸 (24×24 公分) 或 9×8 台寸 (27×24 公分)；臺灣光復後，於 1950 年代因推廣穗重型高產品種，行株距一般採用 25×20 公分之正條密植；1970 年代改用機械插秧，行株距改為 30×16 公分或 28×16 公分之寬行密植方式種植 (張 1999)。此一改變，單位面積種植水稻叢數增加 4~12%左右，使稻田在水稻

插秧後提早形成更適於害蟲棲息之隱密、潮濕處所，而吸引害蟲前來棲息繁衍。密植是構成隱密性高、通風不良及微氣候環境潮濕的重要因素之一，非但有利於吸引水稻重要害蟲前來棲息繁衍(鄭 2003；Litsinger 1994)，亦有利於稻熱病、紋枯病及白葉枯病等水稻重要病害的發生 (張 2003)。因此適當的調整水稻種植的行株距，利於稻株間的空氣流通，降低田間微氣候的濕度，可降低水稻病、害蟲的發生。

(2-3) 稻田肥、水管理

稻田的肥料及灌排水管理是為影響水稻發育及生產至為重要的因素，以往所謂的合理的肥、水管理，一般都以稻米的產量為目標而訂定，並未將其對病、害蟲發生的影響加入考量，若將施用重氮肥可能引起病、害蟲嚴重發生的問題納入考量，就經濟觀點而言，則其所謂的合理性就有待商榷。茲將施肥及灌、排水對水稻病害蟲的危害有何影響，分別敘述如下：

(2-3-1) 肥料管理

肥料的使用是水稻增加產量的必要手段，一般稻田使用肥料除氮、磷、鉀三要素外，在土壤含矽元素低於 40 ppm

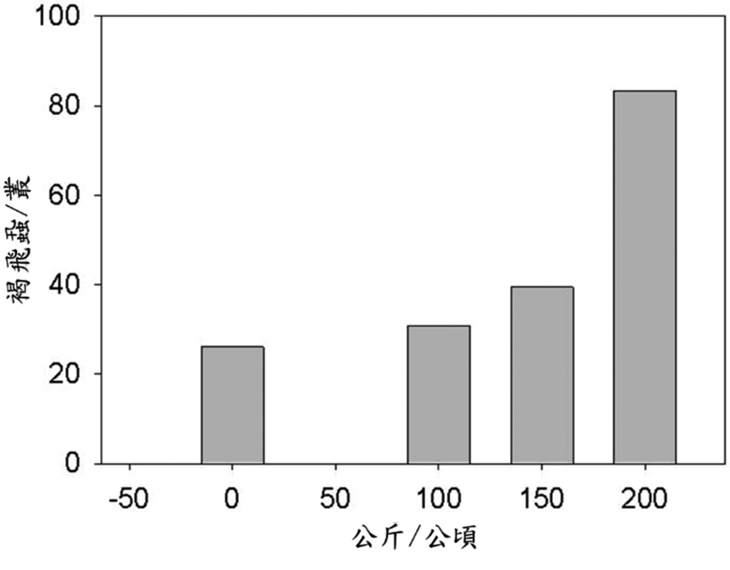
的農田，就需適當地補充施用矽肥，除可調整土壤之 pH 值之外，並可提供水稻所需的矽元素，使葉片直立，提高光合作用率，增強水稻抗倒伏及抗病、蟲程度 (黃與林 2000)。在肥料三要素中，以氮肥對水稻之生長的影響最為明顯，可促進水稻生長、增加分蘗數，以及促進葉片及穀粒的增長和植株與穀粒的蛋白質含量；磷肥則可誘導根的生長、促進植株快速生長及成熟，以及誘導開花與種子形成；而鉀肥則可促進水稻生長活力、強化稻藁與葉片之硬度、增加對病蟲害的抵抗能力、幫助根的發育改善植株之品質、協助蛋白質之生成，並誘導穀粒快速發育、澱粉、醣類及油脂的形成與轉移 (連 1986, 1999；Tanaka et al. 1966; UPCA & IRRI 1967)。三要素中雖然以氮肥對水稻生產之影響最大，而磷、鉀肥之增產效果較小，但三要素之使用比例，必須視稻田土壤之肥力而作適當的調整，才能獲得經濟的生產 (王等 2002)。

目前政府推薦於一般稻田之氮、磷、鉀肥料的有效成分用量，分別為每公頃 120, 60, 60 公斤左右，第二期作略較第一期作為低，而在良質米生產稻田的氮素施用量，則應較原推薦量酌減 10~15%，其中 45~50%的氮素當基肥使用，30%於插秧後 20~30 天施用，另 25~20%當穗肥於幼穗形成期施用 (譚 2005)。然而大部份的農民，為提高產量，大量地提

高氮素的使用量，達到 180~200 公斤/公頃，甚或更高，其結果，除增加肥料費用 (以 21%硫酸銨為例，如推薦每公頃使用有效成分 120 公斤，需要施用的硫酸銨量為 571 公斤/公頃，當農友使用為 180~200 公斤/公頃，就相當於 857~952 公斤/公頃的硫酸銨，較推薦量高 286~381 公斤/公頃；以目前硫酸銨每公斤約為 6.4 元，每公頃單是肥料費，就需增加 1,830~2,438 元) 外，並可能導致病、害蟲的嚴重發生而提高防治所需的藥劑及人工費用。已有許多報告指出，褐飛蝨的取食活動及族群增殖與氮肥用量具密切關係 (鄭 1971；Heinrichs & Edramo 1985; Hu et al. 1986; Kanno et al. 1977; Lu et al. 2005, 2007, 2009; Sugimoto & Yamazaki 1969; Sugimoto et al. 1984)。氮肥施用量亦與瘤野螟危害程度具密切關係 (Upadhyay et al. 1981)。

施用過量的氮肥，可使稻株產生大量的揮發性物質，引誘多種害蟲前往繁殖與危害 (小畑等 1981；洪與朱 1992；Lu et al. 2005; Munakata et al. 1959; Sogawa 1970)，最顯著的例子是東南亞水稻的「綠色革命」，增加氮肥使用量 (圖三十一)，被認為是導致褐飛蝨等遷移性害蟲，由偶發性的次要害蟲變成嚴重害蟲的最重要因素 (徐 1975；Dyck et al. 1979; Lu et al. 2005; Lu & Heong 2009)，增加氮肥施用亦可導致稻

株柔嫩而易染病倒伏，致使穀粒穗上發芽與減產外，並可增加糠秕或青米率 (連 1986, 1999)；施用重氮肥並可增加米的蛋白質含量，而劣化米飯的口感品質 (宋與洪 1999)。由此可見，無限制的增加施用氮肥，並不一定可以增加農民的收益，但卻可增加稻米生產的風險。超量使用氮肥，除浪費肥料增加稻米的生產成本外，長期依賴大量施用化學肥料，而忽略有機肥的添加，可引起土壤酸化、土壤鹽化與有機質含量過低，及劣化土壤理化性質等問題，而影響作物生長；此外施肥量若超過農田所能涵容時，過多的肥料可能隨雨水或



圖三十一、氮肥施用量對第二期稻之第三世代褐飛蝨族群密度的影響。(徐 1975)

灌溉水進入地下水及下流水域，造成水質優養化，使魚類等水生物無法生存 (黃 2000)。由此可見，過量施用氮肥除可促使增加水稻病、害蟲的發生危害，增加農藥的用量；施用重肥及農藥本身除可直接對環境造成嚴重污染外，並嚴重影響天敵對病、害蟲的抑制效力。重氮肥是導致水稻病、蟲害嚴重發生的禍首，農藥是幫兇，而增加生產成本與對環境污染的風險是結果，這是一個非常值得重視的惡性循環。

為解決上述問題，若干農業團體倡導實施所謂的「有機農法」，藉由不施用化學合成肥料及農藥栽培水稻，而以綠肥或有機肥 (含市售有機肥料、各種豆粕、油渣、作物殘株、人和禽畜之糞尿，以及各種自製的堆、廄肥等)，並使用非化學合成農藥的病蟲防治的方法來替代。使用有機堆肥栽植的水稻，已有若干研究報告表示可以降低水稻遭受病、害蟲的危害機率，主要是因為施用有機堆肥 (廄肥) 栽培的水稻，氮素及其他營養要素由有機肥中緩慢地釋出，影響水稻早期發育，每叢水稻株數、高度及葉面積指數 (leaf area index)，以及植株及葉片含氮素濃度，或篩管內養液之總氨基酸的含量，都較慣行施用化學肥料之水稻為低，尤其是施用堆肥栽培的水稻所含之天冬氨酸素 (asparagine，一種可以促進褐飛蝨取食之刺激物質)，明顯地低於化學肥料栽培稻，顯著地影

響褐飛蝨或白背飛蝨的遷入蟲數、產卵數、孵化率、若蟲的存活率及若蟲發育為短翅成蟲的百分率，而使其族群密度極明顯地較於施用化學肥料的水稻上者為低 (Alice et al. 2003; Kajimura et al. 1993, 1994, 1995a, 1995b)；田間試驗顯示除稻飛蝨外，如二化螟、瘤野螟、稻熱病及紋枯病等，在有機栽培稻的族群密度或危害百分率，皆明顯地低於一般化學肥料栽培之水稻，但稻蝽類及稻葉蟬類害蟲等之族群密度，在有機栽培稻上者反而較傳統栽培稻者為高 (黃等 2005；鍾等 2008；Chau & Heong 2005)。

然而有機肥之資材種類很多，碳/氮比的差異頗大，肥效不易準確評估，施肥量很難給予量化。由於大部分的有機堆肥之含氮量偏低，必須施用龐大的數量，方能滿足水稻各生長期對氮素之需求，非但運輸及施用不便，且售價偏高，在稻田施用並不合乎經濟原則。再者在水田近乎缺氧的環境下，有機碳化物，如稻藁或綠肥等只能進行不完全的代謝，常有大量的中間產物與甲烷及碳氫化物等之還原性廢氣釋出；而在稻田深層，有機物之轉變幾乎完全是無氧狀態下進行，更易產生與堆積有機酸於土壤中，而影響各種微量元素之濃度並可對稻苗產生毒害 (黃與林 2000)。因此如稻藁或綠肥等有機肥需於插秧前 20~25 天就應掩埋土中讓其發酵腐

化，方能避免遭受毒害；施用稻藁必先用機械切短，再使用曳引機實施淺水旋耕，才能確保有 80%以上的草段被埋入泥土中發酵腐爛。此外，連續施用有機資材可能造成養分不平衡問題，其中以磷之累積最為明顯；含磷元素過多，可以和其他養分產生拮抗作用 (antagonism)，並污染環境。另外有些有機資材連續使用後，會造成土壤中交換性鈣及鉀鹽基的增加，而鎂不足的養分不平衡問題；以禽畜糞便或皮革類為原料製成的堆肥和污泥等可能含有偏高的重金屬、添加劑及藥物 (含抗生素) 的殘餘，甚或含有處理不徹底的微生物病原體等，若施用量超過土壤自淨能力的極限時，將累積於土壤中，可能污染農地與作物，甚至地下水源。又若將如碳氮比偏高之有機肥 (如稻藁) 施用於土壤表層，會造成缺氮現象，惟有添加含氮素較高之渣粕或禽畜糞以調整其碳氮比至恰當的情況下，才能有足夠氮肥在短期內釋放出來，提供水稻發育初期之所需 (林 2000；郭等 2000；陳與張 2000)。由此可知施用有機肥如果沒有把握原則，非但無法配合水稻的發育適時提供適當的養分，施用不當同樣亦可能污染土壤與環境。基於上述理由，黃與林 (2000) 認為從投資報酬率評估，水稻栽培幾無施用有機肥之誘因，建議在水田種植前和在幼穗形成期前施用適量化學肥料之外，並推廣農民以聯合

收穫機將稻草切碎混入土中，作為土壤有機質之來源，永續循環利用其養分，較為可行。如此運作，應可降低因偏用化學肥料或有機肥之缺失。

實際上查訪目前有機稻農之田間操作，一般於水稻收穫的同時將稻藁段切留於田間，曬乾後拌入土中當有機質，然後於插秧前、水稻分蘖期及幼穗分化期施用市售之混合有機粒狀肥料 (大多以豆粕為基質再與添加物混合)，以一般粒劑噴藥機噴佈，尚稱方便；惟這種市售有機粒狀肥料除有機質、氮、磷及鉀的成分不易標準化外，亦含有微量重金屬等之有害物質，經長期使用後是否會累積於土壤中而對作物與環境造成污染，亦值得關切。

由於無論是施用化學肥料或有機肥料是否恰當，皆直接可能影響水稻的產量、病蟲害的危害程度及對土壤以及環境的影響，應如何施用才不致遭受明顯的負面影響，而使農民獲得最大的收益，亟待相關研究單位的評估。在新規範未建立前，施肥是否適量，從害蟲生態觀點，個人認為可由水稻葉片的表現作為概略的研判。若每叢水稻含有 18 株左右的有效分蘖株，每一分蘖株約含有 3~4 片葉，呈直立狀，淡綠色而非濃綠，可容部分日光透入稻田的地面，且空氣可於稻叢間流通，就表示已接近適當的施用量。對喜好暖濕微氣候

環境的大部分水稻害蟲及病害，改變它們喜好溫、濕的繁殖環境，是為降低其定居下來繁殖後代的一種重要因素。

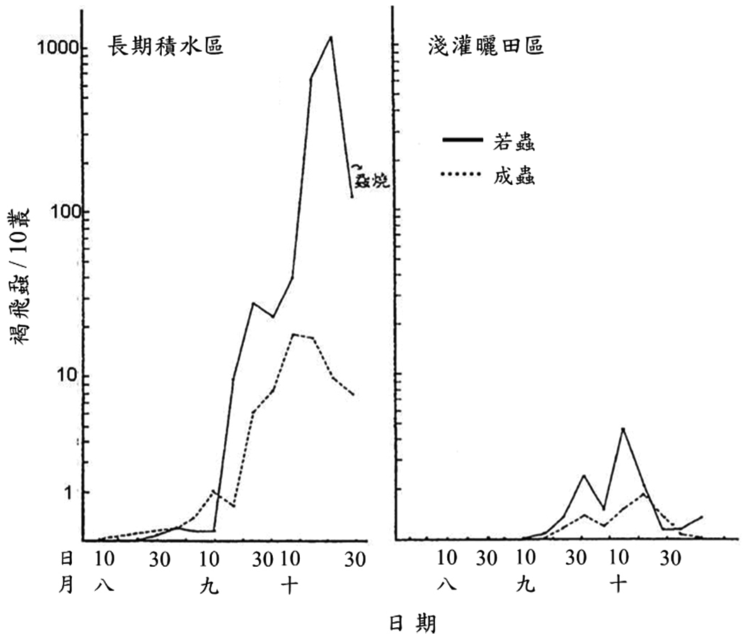
按以往研究顯示，水稻於抽穗後穀粒充實多依賴上位三片葉的光合作用之產物，葉片多於 4 片以上少有助於產量的增加。這是因下位葉遭受上位葉之遮蔭，光合作用機能幾近消失，但其呼吸作用的功能卻與上位葉相同正常運作。換言之，下位葉片幾無光合作用之產能，卻保持消耗能量之呼吸作用，因此對稻穀的產量並無實質上的貢獻；相反地，葉片過於茂盛，在風雨季節可能增加稻株倒伏的風險；葉片茂密亦可致使微氣候濕度的增加，反而有利於病、害蟲的發生危害 (Tanaka et al. 1966; UPCA & URRI 1967)。

(2-3-2) 灌溉水管理

在臺灣稻田的灌、排水措施早有一套管理辦法，於插秧後至分蘗終止期維持 3~5 公分灌水，有效分蘗至幼穗形成期排水、曬田，幼穗形成始期至終期採 5~10 公分深灌，孕穗期排水，抽穗開花期灌水 5~10 公分，乳熟期至糊熟期採 3~5 天輪流淺灌及曬田，其後則不再灌水 (張 1999)。此種灌排水方式已習慣為一般農民採用。在這種灌溉體系下，大多數害蟲，無論是在本地越冬或是由海外遷入的害蟲，在稻田之

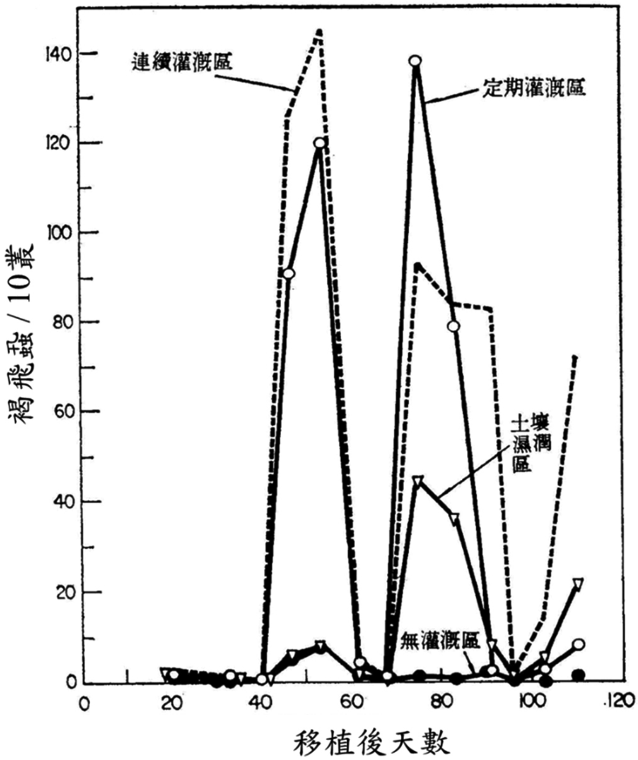
族群密度的高低，大部分是決定於水稻生育早期害蟲的侵入數量 (鄭 1990, 2000, 2001a, 2001b；鄭與吳 1999；鄭與黃 2004)，而繁殖數量則受稻田管理、水稻生育狀況及氣候環境所左右。在一處直播稻田的灌、排水對害蟲發生影響的試驗顯示，水稻播種萌芽後生長至 3 公分左右，就讓稻田自然乾枯至土壤表面微微龜裂，再行過水濕潤稻田及曬田等循環工作，持續 30 天左右 (約為害蟲遷入期)，其後再按慣行方法實施灌、排水及曬田作業，如此操作雖然在水稻生育早期之發育狀況稍受影響，但恢復灌水後，生育狀況快速恢復。然因水稻生育早期植株較小，稻田透光性較佳，微氣候環境的濕度較低，可明顯地降低水稻主要害蟲的遷入蟲數與其後之繁殖數量 (圖三十二)，以及稻熱病、白葉枯病、紋枯病及小粒菌核病等病害的發生機率 (張 2003；鄭 2003)。同樣現象亦發現熱帶地區，於國際稻米研究所農場的一個試驗田，試驗區分為連續灌水區、定期灌水區、土壤保持飽和濕潤區及無灌溉區等，比較各區褐飛蝨的發生情況，結果顯示如圖三十三，在稻田無積水的情況下，褐飛蝨顯著地低於積水區 (Dyck et al. 1979)，而各區稻穀產量差異並不明顯。

稻田無積水栽培除不利於褐飛蝨的取食、蜜露分泌、體重增加及產卵量 (Baqui & Kershaw 1993)，而影響族群的增



圖三十二、直播田淺灌曬田區（右圖）與長期灌積水區（左圖）褐飛蝨族群之發生密度差異比較。(鄭 2003)

長外，並可讓福壽螺 (*Pomacea canaliculata*) 無法藉著積水游泳，快速移動危害幼嫩秧苗，降低秧苗的被害 (小澤與牧野 1989；Wada et al. 1999)；稻田在移植後不積水亦可減少稻心蠅 (*Hydrellia philippina*)、亞洲潛葉蠅 (*Pseudonapomyza asiatica*) 及水稻水象鼻蟲 (*Lissorhoptrus oryzophilus*) 的危害 (Litsinger 1994; Morgan et al. 1989; Shih & Cheng 1992)，並可促進土壤中有毒氣體之排放，有利秧苗根系之發育、養



圖三十三、灌溉與水位保持差異對水稻褐飛蝨族群之發生密度影響。(Dyck et al. 1979)

分的吸收及預防日後稻株倒伏 (張 1999)。但相反地稻田無積水卻有利於稻田雜草的滋生，以及稻蝗 (*Oxya* spp.)、非洲螻蛄 (*Gryllotalpa fosssor*)、臺灣夜盜 (*Spodoptera mauritia*)、稻薊馬 (*Stenchaetothrips biformis*)、稻根蚜 (*Rhopalosiphun rufiabdominalis*)、稻粉蚧 (*Trionymus taiwanus*) 及姬白蟻

(*Odontotermes formosanus*) 等害蟲之發生與危害的機率 (Litsinger 1994)。

然而欲在水稻生長初期實施無積水策略，在臺灣的氣候環境下似有若干困難。在第一期作，水稻插秧時 (1 月下旬至 3 月中旬)，尤其在 1~2 月氣溫頗低，插秧後通常需靠灌溉較深的水位來保溫 (張 1999)；在第二期作，則在 7~8 月上旬插秧，適逢雨季，保持稻田無積水亦非容易。幸好在第一期稻初期害蟲發生情況通常甚低，可於 3 月中旬氣溫回暖，大多數害蟲開始活動時再行實施；而在第二期稻，由於溫度高，多數害蟲於插秧後就陸續遷入稻田，發生較為嚴重，在多雨的情況下，可將稻田的排水口打開，不讓雨水或灌溉水在插秧後 30 天內在稻田內積留，就可達到減少害蟲入侵繁殖的目的 (王與何 1991；鄭 2003)。在中國的試驗認為，定期排水及曬田可以節水 40~70%，並可降低水稻主要病、蟲的發生程度，而增加水稻生產 (王與何 1991)。但在東南亞地區試驗則認為，稻田定期排水措施可導致稻田肥分的流失 (Dawe et al. 2000)，以及妨礙諸多水生的捕食性天敵的繁衍；採用深層施肥法，應該可以大幅度地降低肥分的流失量，而水生捕食性天敵與水生微生物，或許可藉於稻田中挖掘淺溝蓄水保育。但定期排水，或許可促使某些習慣於無水

環境下活動的天敵，如六點狼蛛（*Lycosa pseudoannulata*）等蜘蛛類與青翅蟻形隱翅蟲（*Paederus fuscipes*）等鞘翅目捕食性天敵更為活躍，而彌補水生捕食性天敵之不足，值得再觀察。

(2-3-3) 田間衛生及操作

在兩期稻作間，清除稻田及其周圍地區，害蟲可能越冬或越夏的棲息處所或中間寄主，降低害蟲的殘存率，是為減少下一期作水稻遭受害蟲嚴重危害的一種手段。以三化螟(*Scirpophaga incertulas*)與二化螟（*Chilo suppressalis*）為例，前者在稻株莖部地面下基節內化蛹，而二化螟雖亦於稻莖內化蛹，其中約有三分之一在地面上 10 公分以下之稻莖內化蛹，另 2/3 之幼蟲則選擇在地面上 10 公分以上之稻莖內化蛹（何與劉 1970；素木 1937）。在農業機械尚未普遍使用以前，農田主要依靠牛隻耕田，第二期稻收割後，稻樁常被殘留於田間，直至下一期稻栽植前犁田碎土，稻樁始被破壞，使三化螟及部分二化螟得能順利在稻樁內越冬；此外因為耕牛、家畜應用所需，稻藁一般在水稻收割後曬乾堆存成稻草堆，提供大部分二化螟的越冬場所。稻樁及稻藁無法及時處理清除，是為該兩種螟蟲成為 1960 年代以前之主要害

蟲的重要原因。

水稻栽培機械化後，第二期稻的稻樁大多於水稻收穫後不久，就使用曳引機碎土而遭受破壞；而稻稾則或因被焚燒，或於水稻收穫時利用收割機碎切成小段曝曬於田間，隨後就被曳引機攪拌混入田土中。兩種螟蟲因越冬場所遭受破壞，越冬蟲數量大幅下降，在 1970 年代後逐漸變為次要害蟲 (鄭與朱 1999)。然而在 1980 年代後期，臺灣實施稻田轉作，及 1995 年因加入世界貿易組織 (WTO) 而獎勵稻田休耕，有些稻田於二期水稻收穫後，實施不整地休耕，有些則實施不整地種植如毛豆與小麥等裡作，在其他部分地區，稻稾則被保留作為瓜果或蔬菜種植之畦面覆蓋物，致使三化螟和二化螟在局部地區又形成問題。稻稾與稻樁若能被妥當處理，例如齊泥割稻，並使用聯合收割機於收割水稻的同時給予段切、曝曬乾燥後，再行利用，就可以大幅降低羽化的成蟲量 (鄭與朱 1999)。

另一方面，臺灣的甘蔗因生產成本較高，失去國際競爭力而大面積休耕，迫使原來主要危害甘蔗之大螟 (*Sesamia inferens*) 轉移至水稻上危害，使水稻遭受大螟的危害有逐年嚴重之趨勢 (黃等 2008；鄭與戴 2006)。大螟在水稻上的危害生態尚有很多未解之處，以往用於防治二化螟或三化螟蟲

之藥劑對大螟效果不佳 (劉達修先生未發表報告)，有效防治藥劑亟待篩選，提供緊急防治之需。

田埂雜草為許多水稻害蟲及其天敵，在水稻收穫後之主要棲息場所，但在 1970 年代後，許多田埂雜草，於水稻收穫後或在次一期作整地插秧前，就被農友使用除草劑清除，導致以雜草為中間寄主之害蟲，例如黑尾葉蟬、斑飛蝨、瘤野螟等害蟲及經其媒介之病毒病害，亦因之銳減 (陳 1978)；1980 年後許多排水溝及田埂水泥化，該等害蟲及棲息於田埂之天敵，例如捕食性蜘蛛和甲蟲類等之族群，皆因之大幅下降 (鄭 2003)，直至休耕田漸次增加後，蟲相才又漸行改變。可見水稻栽培及管理方式之變更，對水稻主要害蟲之更迭與害蟲族群之消長皆有密切關係 (鄭與朱 1999)。

3. 生物防治

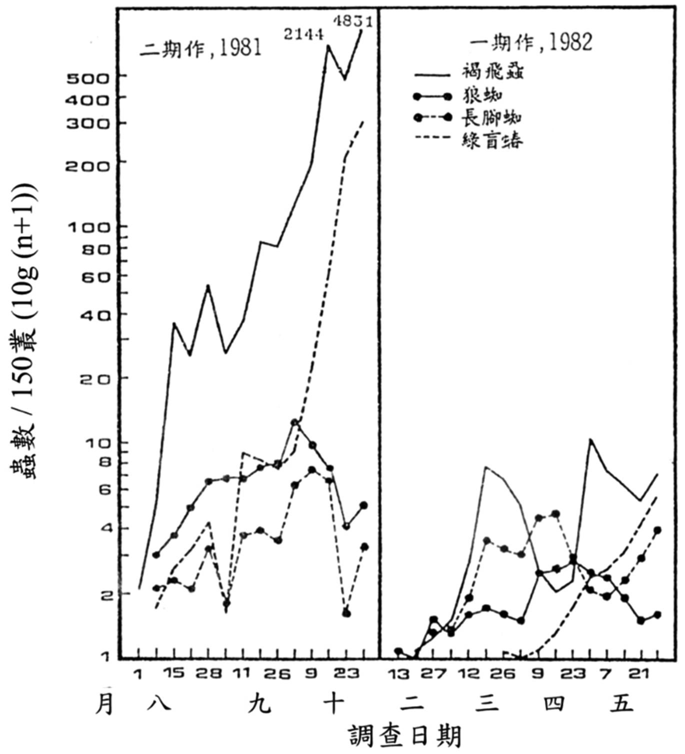
生物防治，顧名思義是利用害蟲的天敵來抑制害蟲的族群密度，以降低害蟲的族群的增長及其危害的一種方法。水稻害蟲的天敵種類甚多，包括捕食性、寄生性昆蟲與其他動物，以及病原微生物 (病毒、細菌、真菌、原生動物、立克次氏菌及線蟲等)，合計達數百種以上，其中僅稻飛蝨類之天敵已經有紀錄者就達 244 種 [含 89.34% (218 種) 無脊椎動

物，6.97% (17 種) 脊椎動物，2.46% (6 種) 病原菌，及 1.23% (3 種) 寄生性線蟲] (Chiu 1979; Lynn et al. 2009; Ooi & Shepard 1994)；水稻二化螟、三化螟及瘤野螟的天敵在臺灣已紀錄者分別有 13, 9 及 28 種之多 (陳等 2009；陳與邱 1983)。若除去上述天敵的捕食或寄生所導致的死亡，則蟲害勢必更加嚴重。

(1) 天敵對害蟲防治效果之侷限

由於天敵的捕食與寄生，一般認為是抑制害蟲族群快速增長的重要因素 (Ooi & Shepard 1994)。然而事實上，捕食性天敵絕大部分是屬於雜食性，在單位時間內之捕食量雖是隨害蟲族群密度之增加而增加，但當害蟲增加到一定的密度後，其捕食量就因捕食處理所需時間及其本身食量的限制而無法再行增加，既受所謂的機能反應 (functional response) 的限制。另外，捕食性天敵在其捕食的標的害蟲族群降低至某一較難被發現之低密度時，就轉移捕食他種密度較高的昆蟲，甚或遷往昆蟲族群密度較高的處所覓食及繁殖，亦既有所謂的數量反應 (numerical response)。因此捕食性天敵對害蟲之抑制可能在害蟲族群初建立時較為有效，其後因害蟲之繁殖率遠大於天敵，則害蟲之族群將逃脫天敵所能控制之範

圍，這種現象對繁殖量大、生長快速且世代短之 *r* 策略型害蟲 (*r* strategy)，如褐飛蝨及白背飛蝨等害蟲尤為明顯。圖三十四表示在無藥劑處理稻田，主要捕食性天敵黑肩綠盲椿 (*Cyrtorhinus lividipennis*) 和捕食性蜘蛛類與褐飛蝨族群密度之關係。黑肩綠盲椿和蜘蛛類之族群密度雖然都隨著褐飛蝨族群之增長而增高，但一直到褐飛蝨之族群密度達每叢水稻

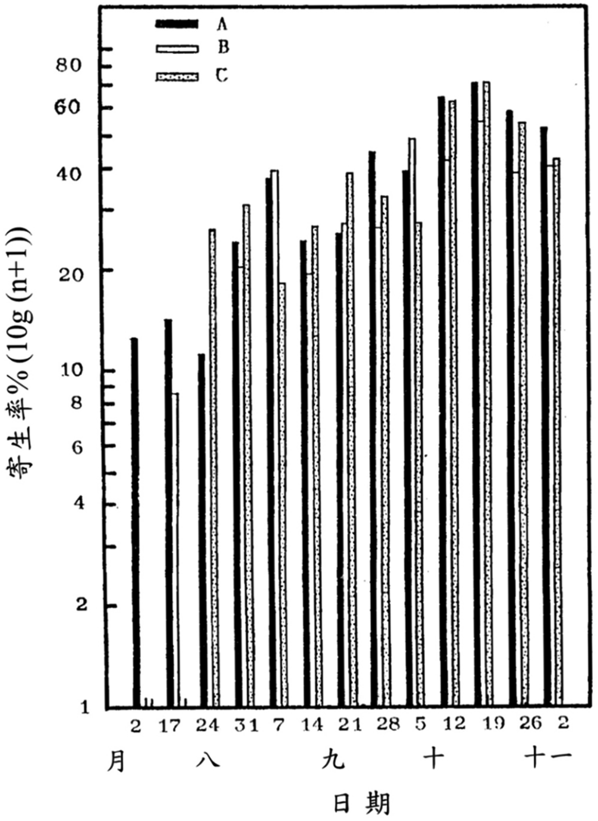


圖三十四、捕食性天敵蜘蛛類與黑肩綠盲椿之族群變動對褐飛蝨族群密度之抑制效果。(Cheng 1982)

200 隻以上時，天敵仍然無法有效地將褐飛蝨的密度增長抑制下來，終使褐飛蝨的密度高達每叢 400 隻以上，而導致水稻在之後的一週之內就全部被害枯萎 (Cheng 1983)。

寄生性天敵也是降低害蟲族群增長的另一重要阻力。但寄生性天敵的寄生率，在害蟲某一族群密度之內，也是呈現密度依存現象，但超過該密度時則成為密度逆依存。圖三十五表示在各水稻生長期褐飛蝨的卵被卵寄生蜂 (以 *Anagrus* spp.為主) 的寄生率，顯示寄生率雖然也隨著水稻的成長及褐飛蝨的族群之增長而增高，寄生率在水稻生長後期雖可達到 70%以上，但最終水稻仍然被害枯萎 (Cheng 1983)。寄生性天敵的寄主專一性 (host specificity)、寄主搜尋能力 (host searching abilities) 以及成蟲的食物 (蜜露及花粉等) 之有無，皆可影響寄生性天敵的駐留與對害蟲族群增長與危害的抑制效力，可見寄生性天敵之應用亦受到很大的限制 (Debach 1965)。

由上述現象表示，無論是捕食性或寄生性天敵，在開放性的田間對減緩害蟲族群的快速成長似有很大貢獻，但卻很難單獨依賴生物防治將害蟲的族群壓制到經濟危害基準，如每叢稻達於 5~10 隻稻飛蝨以下的水平。



圖三十五、在第二期水稻無殺蟲劑處理田於水稻各生長期褐飛蝨的卵遭受寄生蜂之寄生率觀察。圖示 A：盆栽稻於室內讓褐飛蟲產卵 2 天後置於稻田中 7 天後檢視，5 重複；B：1973 年由稻田中隨機割取 50 稻株檢視；C：表示於 1974 年同 B 方法檢測之數據。(Cheng 1982)

(2) 臺灣稻田之設施環境不利天敵之增殖

臺灣在 1980 年代後已有許多稻田的田埂及灌、排水溝

水泥化，於水稻收穫後稻田因翻土、曬田，天敵在田間很難找到立足的空間，嚴重地影響下一期作在水稻發育初期天敵與害蟲族群的比值，尤其是許多農民在水稻生育初期就噴灑農藥，防治如稻潛蠅、水稻水象鼻蟲、二化螟或瘤野螟等害蟲，進一步地毒殺剛遷入稻田內的天敵，嚴重地影響天敵對害蟲的可能抑制作用 (邱與鄭 1976；Heong 2007; Heong & Escarada 1999)。從以往很多試驗顯示，天敵對害蟲族群之增長的抑制效率是隨天敵與害蟲的比值而異。以黑肩綠盲蝽為例，當褐飛蝨與黑肩綠盲蝽以 1：1, 1：0.6 及 1：0.2 的比率蟲數罩於稻株上，經 30 天後，褐飛蝨的數量與無接黑肩綠盲蝽者比較，分別降低 60, 43.3 及 18.8% (Cheng 1983)，類似的現象亦為東南亞地區 Ooi & Shepard (1994) 與 Stapley (1975, 1976) 等所報導。因此在臺灣目前的情況下，若期望生物防治能發揮更大的治蟲作用，只有盼望能在稻田的兩端保留長約 1 公尺左右的生態植被區，或在水泥田埂邊附加 10~20 公分的土堤，栽植貼地匍匐性豆科植物，及如芝麻與秋葵等能較長期供應花粉與蜜露之植物，藉以提供天敵生物之棲息與食物之供給；最簡單的方式是在水泥堤上，每 5~10 公尺置放一堆半腐爛的草堆，可以作為捕食性蜘蛛及甲蟲類天敵的庇護處所，期能增加水稻生長早期遷入稻田之天敵的

數量 (鄭 2003)。

稻田的植物相相當單純，不利天敵生物的立足與繁衍，建立庇護場地，於水稻收穫後提供天敵生物之棲地與食物，保護與養育天敵，是提升生物防治效益的不二法門，尤其是寄生蜂，若無提供蜜露與花粉等食物來吸引及留住牠們，將無法要求牠們久居在自己的稻田尋找寄主害蟲產卵寄生。

此外，在水稻發育早期 (水稻移植後 30~40 天內) 應盡量避免噴灑劑防治福壽螺、潛蠅、螟蟲類及瘤野螟等水稻害蟲，才有可能讓剛遷入的天敵能在稻田中立足、繁衍，發揮較大的治蟲作用 (Heong 1993)。事實上，如第陸章第 2 節所示，水稻在分蘗生長期中稍受危害，因補償能力頗強，對稻穀產量並不會產生明顯的影響。因此上面所述之操作雖然有點麻煩，或可能損失一點作物的產量，但這一點損失可從水稻自己的補償作用，增加天敵對害蟲的抑制效果，以及減少噴佈殺蟲藥劑的費用就可以獲得足夠的補償。

(3) 可期待發展的害蟲天敵

蟲生病原微生物，被認為具有對人畜及環境無害，可以在室內保存，大量製造成商品及便於運輸等特性，在適當的時期可以像化學農藥一樣地使用於害蟲防治，亦可以和化學

農藥及其他防治方法共同使用，其效果似較可被期待 (侯 2000)。然而雖然有許多種微生物已被發現對某些水稻害蟲具有致死效果，例如使用白殭菌 (*Beauveria bassiana*) 或黑殭菌 (*Metarhizium anisopliae*) 防治水稻水象鼻蟲與黑尾葉蟬 (*Nephotettix cincticeps*) 等，及使用蟲生線蟲 (*Agamermis unka*) 防治稻飛蝨 (Choo & Kaya 1993; Nitta 1993; Rombach et al. 1994)，但迄至目前為止，可以大量生產商品化的病原微生物仍然有限。

此外微生物在田間使用不免會受到環境因子，例如紫外線、降雨及溫濕度等之限制，防治之有效期短，需要多次噴灑，以及因其寄主的專一性較高，防治對象有限及價格昂貴等因素，目前只有蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis*) 被商品化，推薦於防治作物 (以蔬菜為主) 的鱗翅目及少數鞘翅目害蟲 (王等 2012)。但由於微生物防治對人畜及環境安全之優點，近年來無論在國內或國外都甚受重視，積極投入人力研究，希望在不久的將來會有好的產品問世。

除上述捕食性、寄生性及微生物天敵外，一種早在合成化學殺蟲劑問世以前就被農民普遍使用於害蟲防治的方法，例如利用鴨子或鯽魚的活動和捕食以降低雜草及害蟲的方法 (何等 2011)，近年來亦被實施有機農法之部分農民採

用。在稻田秧苗成活後開始圈養小鴨子於田間，一方面可除草及捕食害蟲，另一方面其排泄物可滋養植株，而鴨子活動攪動土壤可以促進稻根之發育，對水稻發育頗有助益。此一所謂的「稻鴨共作」(或稱鴨間稻) 的方法，按何等 (2011) 報告顯示，在每畝田 (667m^2) 放飼 10~15 隻 (相當每分地 15~22 隻) 鴨的情況下，於水稻發育之早、中期對褐飛蝨、稻葉蟬、稻象鼻蟲及紋枯病等的控制效果良好；例如在釋放鴨子入田後的第 15 及 45 天調查，對稻飛蝨類的防治效果分別達到 38.10 與 82.79% (無釋放鴨區每百叢稻分別稻飛蝨有 2,518 與 1,278 隻，稻鴨共作區為 1,584 與 220 隻)，但在水稻孕穗期後隨植株長高，在植株上半部活動的害蟲，例如二化螟、瘤野螟、白背飛蝨、斑飛蝨及稻葉蟬類等已非鴨子所能啄及，防治效果逐漸下降，且於抽穗後，因怕稻穗遭受鴨子啄食，就無法再將鴨子放飼於稻田抑制害蟲的危害。因此建議在實施稻鴨共作時，宜合併使用誘蟲燈或性費洛蒙誘殺害蟲，必要時需配合施用生物農藥的防治，才能獲得較為理想的防治效果。

總而言之，害蟲的生物天敵雖然種類眾多，但在臺灣目前的自然情況下，很少能單獨依賴天敵抑制害蟲的族群密度達到經濟危害基準之下。然而無論如何，天敵是自然界恩賜

的豐厚禮物，只要在水稻空田期間有良好的棲息地及替代食物可以讓主要天敵存活，甚或繁衍，並在水稻分蘖期中避免噴灑農藥，使它們數量與害蟲遷入量維持一定的比例，在害蟲大量繁殖前就能有效給予抑制，若再能與耕作防治法，如栽植抗性品種，或不過量施用氮肥等相互配合，就有機會抑制害蟲的族群於經濟危害容許範圍之內，其中天敵當然是危害蟲綜合管理中極為重要的一個成員。

4. 藥劑處理

廣義上，無論是利用生化物質，或合成化學藥劑毒殺害蟲的方法，都可稱為藥劑防治 (chemical comtrol)，而一般多以使用合成化學藥劑防治害蟲的作為才稱作藥劑防治。藥劑防治是臺灣農民最常使用的作物病蟲害防治方法，茲將其在臺灣之使用沿革及其優缺點分別敘述如下：

(1) 臺灣殺蟲劑使用沿革

臺灣在日據時期就有使用藥劑記錄，例如使用除蟲菊、魚藤精及硫酸尼古丁 (包括菸砂) 等植物性殺蟲劑，或砒酸劑、銅劑、石灰硫磺及石油等無機化學物質於害蟲防治 (王 1947；農試所 1944)。第二次世界大戰後，中國農村復興聯

合委員會（行政院農業委員會的前身）於1950年始自國外引入合成氯化烴類殺蟲劑，例如 DDT、BHC 等應用於稻蟲防治，效果相當明顯（王 1957；王與范 1968）；其後屬於有機磷劑、氨基甲酸鹽系劑、合成除蟲菊類藥劑以及類尼古丁藥劑等陸續被引入臺灣防治水稻害蟲。

最先引入臺灣之氯化烴類殺蟲劑，屬於廣效性殺蟲劑，使用後之殘留於環境之毒性（residual toxicity）長達數年，對環境生態衝擊極大，且其有毒物質能經食物鏈累積濃縮，危害高階層之捕食性動物，包括魚類、鳥類、脊椎動物等野生動物及人類，導致社會大眾談「藥」色變。1962 年美國 R. Carson 的著作「Silent spring」(寂默的春天)，驚醒世人應更嚴謹地使用農藥，降低農藥對環境的衝擊。在臺灣氯化烴類藥劑與若干劇毒藥劑已於 1971 年起陸續被禁止使用於農作物之病蟲害防治。其後陸續引入之殺蟲藥劑，隨時間之演進，逐漸趨向易分解，低殘留及降低對脊椎動物與水生動物之急性毒，且對標的害蟲具高活性與選擇性，以及對使用者安全的方向改進。整體而言，在臺灣目前推薦於農作物使用之藥劑，大部分屬於輕毒性等級（口服半致死劑量 LD_{50} =500~5000 mg/kg）或低毒性等級（口服 LD_{50} >5000 mg/kg）(王等 2012)。因此若農友能按照政府推薦的使用時期及方法

施用及採收，食用標的作物的安全性應毋須過分掛慮。

此外如昆蟲生長調節劑 (insect growth regulator：例如布芬淨 (buprofezin)、亞賜圃 (isoprothiolane) 及二福隆 (diflubenzuron) 等可阻礙幼 (若) 蟲的蛻皮及降低成蟲的產卵數和卵的孵化率 (Heinrichs et al. 1984; Ishii 1984)；攝食阻害劑 (antifeedant)，例如 spanone (chlordimeform) 對多種刺吸式與咀嚼式口器害蟲具有忌食作用 (Fujiwara 1971; Hirata & Sogawa 1976)；植物殺蟲劑除早期使用之除蟲菊 (pyrethrum)、魚藤精 (rotenone) 及尼古丁 (nicotine) 較具毒性外，其後發現之印度楝 (*Azadirachta indica*)，苦楝 (*Melia azedarach* and *M. toosemdan*) 及番荔枝 (custard-apple, *Annona* spp.) 的葉與種子之抽出液，旱連草 (*Eclipta alba*) 根的抽出液、石菖蒲 (*Acorus gramineus*)、水菖蒲 (*Acurus calamus*) 及辣根 (*Aymoracia yusticana*) 等植物都具防蟲效果且毒性低之優點 (楊與華 2010)；其中以由印度楝種子之抽出物－苦楝精 (neem oil) 已商品化，對水稻害蟲如稻飛蝨類、葉蟬類、瘤野螟及其他多種鱗翅目害蟲的幼蟲具忌避性 (repellent)、拒食性 (antifeedant) 或阻礙取食性 (feeding deterrent)，可降低成蟲產卵量及卵和若 (幼) 蟲存活率 (Chelliah & Bharathi 1994; Chiu 1984; Ishii 1984; McMillian et

al. 1969; Saxena et al. 1980, 1981)。

其他如昆蟲性費洛蒙 (sex pheromone)，已經鑑定合成者有二化螟、大螟、瘤野螟及稻螟蛉 (*Naranga aenescens*) 等的性費洛蒙 (王 2010)，具高專一性與高活性，可以用於大量誘捕成蟲，或供作偵測害蟲發生時期與發生量，可作為判斷應否防治以及防治適期之依據 (鄭 2001)；微生物製劑例如蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis*) 與核多角體病毒 (Nuclear polyhedrosis viruses) 在合適的環境下使用，可以毒死害蟲或造成疫情使昆蟲致死 (Rombach et al. 1994)；這些對天敵及環境之衝擊更輕微的生物製劑已逐漸被重視，並應用於田間蟲害防治 (Ishii 1984; Kawazu et al. 2000, 2005)。惟似昆蟲生長調節劑、植物性殺蟲劑苦楝精或微生物製劑蘇力菌等之售價，較一般化學殺蟲劑高出甚多，且降低害蟲密度緩慢，須於害蟲造成災害前一至兩個世代的幼 (若) 蟲時期使用，才能顯示明顯效果，若待害蟲族群密度已達足以造成災害時才施藥，則難於見效，農友使用時務必考慮防治成本與留意使用適期。

(2) 使用殺蟲劑可能產生之弊病

使用合成殺蟲藥劑防治害蟲，具有效果迅速明確、資材

取得容易、施用方法簡單及費用經濟等優點，是為一般農民最樂於使用的害蟲防治方法，尤其在 1960~1980 年代，政策獎勵糧食增產時期，農友常不計成本，大量地施用化學肥料及農藥，以求獲得最高產量，其結果雖然降低了主要害蟲，例如三化螟、二化螟、鐵甲蟲、黑椿象及負泥蟲等的危害，但卻引起非標的害蟲或次要害蟲，黑尾葉蟬與稻飛蝨類害蟲的抗藥性 (resistance)、再猖獗 (resurgence) 及殘留毒 (residue) 污染食物和環境的問題 (古及王 1976, 1977, 1978；古等 1976, 1977；Chelliah & Heinrichs 1980; Gao et al. 1988; Lin et al. 1979; Matsumura et al. 2009; Nagata et al. 1979; Reissig et al. 1982)。這些副作用都是不當使用殺蟲劑所引起，茲將此等副作用簡介如下：

(2-1) 害蟲產生抗藥性

在同一地區大面積的稻田，連續使用同一種藥劑防治害蟲，經數年之選汰作用，可以促使害蟲對該種藥劑產生抗藥性，是為大多數人們所了解的。在 1960 至 1970 年代，因使用長而廣效性殺蟲劑蟲必死 (BHC) 而引起黑尾葉蟬及稻飛蝨類的大發生，其後更廣泛而密集地使用有機磷劑與氨基甲酸鹽系劑於防治褐飛蝨及黑尾葉蟬，其結果導致黑尾葉蟬等

害蟲對若干常用藥劑，如蟲必死、巴拉松、甲基巴拉松、馬拉松、繁米松、滅必蝨 (MIPC) 及丁基滅必蝨 (BPMC) 等已產生 64~2,247 倍的抗性；而褐飛蝨對加保利 (carbaryl)、納乃得 (methomyl)、安丹 (propoxur)、亞素靈 (monocrotophos)、巴拉松、甲基巴拉松、馬拉松、歐殺松 (acephate) 及加保扶 (carbofuran) 等都已產生明顯的抗藥性 (古等 1976)。

害蟲產生抗藥性對遷移性害蟲而言，其影響層面更為嚴重；如在 1990 年代中，於東北亞、東南亞及南亞等許多國家使用屬於類尼古丁類藥劑 (neo- nicotinoids)，如益達胺 (imidacloprid) 於水稻褐飛蝨防治，及使用屬於苯基吡唑類 (phenylpyrazole) 藥劑，如芬普尼 (fipronil) 於白背飛蝨防治，於 2003 年在泰國開始發現褐飛蝨對益達胺產生抵抗性，其後抵抗益達胺之褐飛蝨迅速在周邊地區—印度、越南、中國、韓國、日本與臺灣等地發現 (Harris 2006; Matsumura et al. 2007; Xia 2006)，並導致於 2005 年，在越南、中國及日本發生了極為嚴重的褐飛蝨危害，尤其是在越南與中國，農民慣於大量使用益達胺於水稻害蟲防治，由該地區遷出之褐飛蝨抗藥性已然很高，且益達胺誘發產生抵抗性之褐飛蝨，對同屬於類尼古丁之賽速胺 (thiamethoxam) 亦產生交叉抵抗

(cross-resistance) (黃 2013)。

在同一時間發現，於日本、中國、臺灣、菲律賓及越南等地之白背飛蝨對芬普尼亦產生很高的抗藥性。若在害蟲遷出地兩種稻飛蝨對某種藥劑已產生抗藥性，而在遷入地亦使用同樣藥劑，勢必無法獲得有效治療效果，因此很多學者呼籲對遷移性害蟲抗藥性之偵測，國家間之共同合作是一項亟待研討之議題 (黃 2013；Cheng 2006; Hien 2006; Matsumura et al. 2009; Nagata 2006; Watanabe 2007)。

如何避免害蟲產生抗藥性，是使用藥劑防治害蟲者經常討論的重點話題之一。最常被提到的方法有兩種，其一是輪流使用殺蟲機制不相同的藥劑，如第一次使用有機磷藥劑，第二次改用氨基甲酸鹽系藥劑，或其他如合成除蟲菊、類尼古丁藥劑，前後使用藥劑必先確認害蟲不會對該兩種藥劑產生交叉抵抗作用；另一種方法是混合兩種作用機制不同的有效藥劑施用，但使用此法卻有可能導致害蟲產生多抗性 (multiple resistance) 之虞。這兩種方法對某些種類害蟲雖然有效，但並不一定對所有害蟲都有效，可能與各種害蟲分化藥劑基因之特性有關 (Nagata & Mochida 1984)。總之，如何將藥劑與其他防治方法結合於蟲害防治以減少藥劑的使用頻率與數量，可能是降低藥劑產生抗藥性的最佳方法。

(2-2) 害蟲再猖獗

再猖獗是指在藥劑使用區，無論是防治的標的害蟲或非標的害蟲的發生量較無使用藥劑區更為嚴重的現象。產生害蟲再猖獗的機制相當複雜，可能是因藥劑毒殺害蟲的天敵；藥劑改變寄主植物之生長勢或是寄主所含的微量元素，而吸引更多的害蟲前來棲息產卵，或促進害蟲的取食及繁殖量；亦可能是害蟲因受亞致死劑量 (sublethal dose) 藥劑所引起對害蟲之激效作用 (insecticide-induced hormesis)，而增加產卵量所導致害蟲發生更為嚴重 (Cheliah & Heinrichs 1980; Chellish et al. 1979; Cohen 2006; Gao et al. 1988; Hardin et al. 1995; Pham 2007; Song et al.1984) (表三)。在臺灣，害蟲再猖獗現象，於以褐飛蝨為主要害蟲的時期，由於其成、若蟲絕大部分都棲息取食於稻叢基部，由葉面噴佈藥劑可能為最大原因。概葉面噴藥大部分的藥劑被上面的葉片阻擋，很難噴到在植株基部取食的害蟲，少量的藥劑或許可以到達蟲體，若藥量不足以毒斃害蟲，也就是只能達到所謂的亞致死量劑量，是為引起再猖獗的重要因素之一。目前農民人口老化，噴藥業務大多雇工代勞，一般以高壓、長柄及多噴嘴之噴佈器材快速地在植株上來回噴灑，此種噴佈只能防治若干葉面

取食害蟲，如葉蟬類、稻捲葉蟲之類害蟲，並可毒死活躍於植株上部的寄生性天敵，而導致需要防治的主要害蟲猖獗發生。另一原因可能是選用之藥劑，因害蟲已產生抗藥性或為非推薦於主要害蟲之防治藥劑所致。因此使用藥劑防治害蟲時，選擇藥劑及噴佈方法，應特別謹慎，以免獲得反效果。

表三、在水稻品種 IR22 號分別以第滅寧乳劑及甲基巴拉松乳劑之三種濃度劑量對各小區褐飛蝨族群發生之影響[a]（Chelish & Heinrichs 1980）

處　　理	劑量（kg ai/ha）	蟲數/叢[b]
第滅寧乳劑	0.03	850 a
	0.02	220 bc
	0.01	210 bcd
甲基巴拉松乳劑	0.75	360 b
	0.50	145 cd
	0.25	112 cd
無施藥對照	-	60 d

[a] 使用背負式噴霧器於水稻移植後第 20, 35 及 50 天噴布藥劑。
[b] 於最後噴藥後 18 天調查，同欄蟲數後跟隨相同英文字母表示差異不顯著。

(2-3) 藥劑對環境之衝擊

一般而言農藥撒佈於田間後，據估計只有少於1%的藥劑可噴及或接觸蟲體；使用粉劑撒佈或液態劑噴佈時分別有

10~20%及25~50%會殘留在作物表面，其它絕大部分飄散至周圍環境或空間，附著於其他植體、水面及土面，除可影響空氣品質外，並可能造成非標的作物藥害或作物食用安全，以及毒殺害蟲天敵及蜜蜂與其他中性昆蟲；殘留於水中或土壤之藥劑，除可汙染水質外並可毒殺生存於水中之生物，含活躍於水中的蝌蚪、水蠆、水黽、田螺、螢火蟲及其他水生甲蟲類、大肚魚及泥鰍等的水生捕食性生物外，以及毒殺那些捕食性天敵的食物，如孑孓、搖蚊、水蚤及其他藻類等浮游微生物，降低水生捕食性天敵之種類及其族群豐度，直接影響害蟲與天敵之比例失衡，是為導致害蟲猖獗的重要原因之一 (湯嶋 1973)。

農藥最嚴重的副作用是影響生物種在一個生態系內的自然平衡。所謂生態系(ecosystem) 是指在某一景觀地域的空間範圍內，存在的所有生物和非生物的環境要素，通過物質循環和能量流動相互作用，相互依存而構成的動態系統。農業生態系是由所有棲息在作物栽培地區的生物群落，於其周圍各種環境因素所組成的單位，它容易受到各種人為活動干擾的影響而改變 (趙等 1983)。

生態系內生物種越單純貧乏，生物之間的相互牽制力量越小，則害蟲族群發生變動會越大，某些害蟲因環境牽制力

量不足，有利於其繁衍，便可能突破生態生命網的限制，而猖獗發生危害。殺蟲劑使用後會使生態系內之生物種類更為貧乏、失衡 (趙與周 1983)。

水稻生態系較之自然生態系，或其他作物生態系之生物種類都明顯地單純與貧乏，生態系愈不穩定，愈會發生蟲害問題。在水稻生態系，農友為了增加生產量，過量地施用肥料，繁茂的稻株生長，易誘引害蟲前來繁殖，然後再不當地大量噴灑農藥，無形中就建立了害蟲與農藥之惡性循環。如何豐富生態系內涵，加強害蟲生存及繁殖的壓力，以降低其族群之暴發性成長，而造成作物嚴重損失，如此才能讓農民減少農藥使用，以降低農藥對環境可能引起的衝擊。

(2-4) 對水稻產生藥害

在臺灣登記於植物保護手冊推薦於水稻蟲害的農藥，於登記前都須經三處農業試驗改良場所進行田間嚴謹的試驗觀察、藥劑防治效果良好且無藥害者，始能推薦審查登記，理論上若能按推薦方法使用應屬安全，但若使用不當，如使用藥劑濃度過高、噴佈不勻、於水稻生育敏感時期噴佈、以及混合農藥種類不當時，都有可能產生藥害。

按照以往農友前來詢問之藥害，以表現枯心、無法抽

穗、穗梗扭曲、穗枯及穀粒黑變者居多，葉片產生斑點、皺縮或黃化，除少數案例因農藥使用濃度太高所致者外，大多為遭受病害、廢氣或廢水汙染及生理因素所致。藥害與廢氣、廢水汙染危害之分布較為全面性，或在可能被重複噴藥及遭受汙染的地方成條狀或塊狀，而遭受病害或蟲害，除非非常嚴重危害的情況下，可能導致全面枯死，在一般情況，多以呈現點狀或簇狀分布為主。

水稻可能遭受藥害大多出現於分蘗盛期前與幼穗形成期至抽穗期間；在水稻分蘗期，據持藥害植株前來諮詢的農民稱，混用殺丹乳劑 (掃丹，saturn) 或丁基拉草 (馬上除，butachlor) 和巴拉松乳劑 (parathion) 同時防治雜草與二化螟，或使用三賽唑 (益友，tricyclazole) 和巴拉松同時防治稻熱病 (rice blast) 與二化螟導致稻田全部植株枯心；由於這些藥劑單獨使用都不會引起藥害，但按前來諮詢農民認為同時使用卻可引起枯心之藥害，推測可能的原因除藥劑使用濃度過高，以及在強光高溫環境施藥外，其他可能因素則有待追查。

水稻於分蘗期及孕穗期使用鐵甲砷酸銨 (新阿蘇仁，neo asozin) 或其他屬於有機砷劑類藥劑，如甲基砷酸鈣 (紋散，mon san) 和滅紋 (紋枯，mon) 等於防治紋枯病 (sheath

blight) 時，與三賽唑 (益友，tricyclazole) 混合同時防治稻熱病，或與有機磷劑，如陶斯松 (chlorpyrifos) 和歐殺松 (acephate) 等混合同時防治蟲害時，常發生枯心、阻礙抽穗或造成白穗不稔之藥害現象。使用有機砷劑防治水稻紋枯病時，不可任意提高施藥濃度，並應盡量於分蘗期實施，在抽穗前 10 天就應停止施藥，以免發生藥害 (王等 2012)。

2, 4-D 是屬於苯氧醋酸系 (phenoxyacetic acid) 具有移行性之藥劑，高濃度使用時具有除草作用，低濃度使用時則具有植物生長調解作用 (廖 1984)。1980 年代有多位農友租用台糖農場曾種過甘蔗之土地耕種水稻，於水稻分蘗期開始發現植株硬化如竹桿，無法抽穗，有可能遭受以往台糖使用 2, 4-D 除草劑之微量殘留的作用有關 (蔣 2003)。另外有部分農民於之前使用植物生長調節劑或除草劑後，未將噴藥桶徹底洗淨，就用於噴灑殺蟲劑，而導致稻株矮化異常或枯萎，尤須留意。

另外於毗連或鄰近作物或空地施用除草劑，尤其是施用無選擇性除草劑，如巴拉刈 (paraquat) 和嘉磷賽 (glyphosate-isopropylammonium)，或禾本科雜草選擇性除草劑，如伏寄普 (fluazifop-p-butyl) 和芬殺草 (fenoxaprop ethyl) 等，可能隨風飄散，亦能產生藥害。

此外，使用育苗箱藥劑處理防治水稻生育早期害蟲，或媒介病毒病害之害蟲時，選用藥劑尤須留意，以免發生藥害。目前推薦於插秧前 24 小時每箱 (60×30×4 公分) 施用 3% 加保扶 (carbofuran) 或 3%丁基加保扶 (carbosulfan)，每箱使用 100 公克 (鄭 2002)；2%益達胺 (imidacloprid) 粒劑，每箱使用 50 公克 (黃等 2005)，於插秧後，本田必須灌水滿過土面，方可避免發生藥害。若欲使用其他藥劑，應先測試是否可能發生藥害，再行處理。

(3) 殺蟲藥劑在自然環境下之降解消失

化學合成殺蟲劑於 1940 年代問市大量生產後，作物病蟲害防治大體上多依賴合成藥劑。由於初期推出之藥劑是屬於安定性較高，且不易分解之有機氯劑，如 DDT 或 BHC 等在使用後經數月或數年，尚可在環境中偵測到它們的殘留毒，對非標的生物的毒害，以及經食物鏈之累積，終可威脅下游之捕食性生物，甚或人類本身，致使人人談藥色變，對農作物使用藥劑防治害蟲非常排斥，直至現在仍然無法釋懷。然而目前使用之農藥，如 4(1) 節所示，已大幅由劇毒進展至輕毒至低毒，且其毒性之半衰期亦絕大部分已降為由數日至 1 個月以內，農民若能按政府推薦方法使用，就無須

過慮其安全性。惟農藥種類繁多，化學結構互異，其降解方式及所需時程亦差異很大。本節謹將過去經常使用在水稻上之農藥，在文獻可能蒐集到之資訊，概略地介紹若干農藥於使用後之代謝及其毒性之降解衰退之途徑。此等資訊除可了解各類藥劑於使用後之代謝降解途徑及情況外，並可作為在作物不同生育期，或需連續使用藥劑時選擇藥劑時必須考慮之事項，提供有關工作者用藥之參考。

(3-1) 農藥使用後之代謝及降解消失

藥劑噴灑於田間，除極少部分附著於蟲體與標的作物被吸收外，大部分可藉揮發 (volatilization)、其他植物吸收 (absorption by other plants) 或隨風飄散或雨水沖洗而殘留於水或泥土中 (王 1985；李 1985；翁 1985；湯等 1972；Metcalf 1984; Ripper 1956; Wiersma et al. 1972)；飄散在水中或土面上者，可經水稻根部吸收、表皮滲透或經葉鞘間毛細管作用進入植物組織；大部分則經揮發、滲漏 (percolation) 地下、隨地下水流出轉移或被土壤及其膠質體吸附 (adsorption to soil and soil colloids)。藥劑之轉移基本上並沒改變農藥本質，轉移速度與藥劑結構和環境因素，如溫度、風速、降雨、土壤的結構、pH 值及有機質含量等有密切關係 (Roger & Bhulyan

1995)。有機質含量低之沙質壤土，以及酸性土壤環境利於藥劑之轉移；而在厭氣環境下，如水稻田則有利於厭氣性微生物之繁衍，較有利於藥劑之被降解 (湯嶋 1973；Roger & Bhulyan 1995)。

一般農藥於施用後，隨即與環境之物理、化學及生物因素接觸而逐漸被降解 (degradation) 而失去毒性。綜合前人研究顯示，農藥降解途徑可分為光分解 (photodecomposition)、微生物分解 (microbiological decomposition)、化學分解 (chemical decomposition) 及有機物結合 (conjugation with organic material) 或稱植物解毒 (plant detoxication) 等 (Roger & Bhulyan 1995; Sethunathas 1989; Van Eend et al. 2003)。上述分解途徑亦可分為非生物降解 (abiotic degradation) 及生物分解 (biotic degradation)；前者包含光解作用 (photolysis)、水解作用 (hydrolysis)、氧化作用 (oxidation)、還原作用 (reduction)、分子重組 (rearrangments) 以及土壤吸附 (soil adsorption) 等；而後者則含植物與微生物酵素轉型 (enzymatic transformation) 降解，通常被認為是農藥解毒 (detoxification) 之主要途徑。

Ven Eend et al. (2003) 綜合前人研究認為農藥的代謝可能可以分為三個階段：第一階段是原本親脂質的農藥化合

物，經氧化、還原或水解作用而變成較易溶於水，變為輕毒的化合物。第二階段含農藥或農藥分解體與葡萄糖、氨基酸或麩氨基硫 (glutathione) 結合。第三階段為將第二階段的結合體再與其他物質結合，或結合體與結合體相互結合成為無法利用、不具毒性的生物聚合物 (bio-polymers)。使用後藥劑之轉移或被降解速度，可供判別該藥劑毒性之持續性，對害蟲有效之防治期間，及對水、土壤以及環境造成汙染的潛能。下面就一般藥劑代謝降解的主要步驟分別敘述如下：

氧化轉型作用：常被認為是利用生物促使藥劑轉型的第一步驟，這一反應是受氧化酵素，如細胞色素 P450s (cytochrome P450s)、過氧化酵素 (peroxidases) 及多酚氧化酵素 (polyphenol oxidase) 等之催化。其中以細胞色素 P450s 最為重要，普遍存於多種植物及微生物。

水解轉型作用：水解酵素可將化合物的結合鍵劈開，並將水的 H 及 OH 分子分別連結於被劈開的化合物上，而轉型成為另種毒性較低或無毒物質。植物水解酶主要有酯皂化酵素 (esterases)、醯胺酵素 (amidases)、芳香基醯基醯胺酵素 (aryl acylamidases)、及腈酵素 (nitrilases)。這些酵素可代謝多種化合物，尤其含有醯胺、氨基碳酸鹽 (carbamate) 及酯作用機能群 (ester functional groups) 等，它們可能被區隔或

存於細胞外，在有氧或厭氣環境下發生作用。與多數的酵素一樣，水解酵素也可能對多種化合物具有特殊性(specificities)，因此可以降解多種藥劑的毒性。

硝基芳香化合物之還原作用：一般而言硝基芳香化合物之轉型隨植物與微生物之種類不同而異。在植物方面，例如殺草劑三福林 (trifluralin) 用在花生之主要代謝物為n-depropylated trifluralin；而在甘藷之主要代謝物則為三福林單氨基衍生物 (monoamino-derivtive in trifluralin)。相對於三福林只可經微生物之硝基還原酵素轉型。在植物，麩氨基硫五碳硝基苯 (pentachloro nitrobenzene) 與麩氨基硫的結合是與 Cl 或 NO_2 之轉移的同時相伴發生，這種受麩氨基硫調解而使芳香化合物之硝基群移轉，只在植物上發現，尚未見於微生物的作用上 (Van Eend et al. 2003)。

在微生物方面，硝基芳香異化物的還原代謝途徑可歸納為三種：芳香硝基還原作用 (aromatic nitroreduction)，部分硝基還原作用 (patrtial nitroreduction) 以及氫化作用(hydrogenation)。硝基芳香異化物的還原代謝作用是受硝基還原酵素所調解，這種酵素存在多種好氣性及厭氣性的細菌，以及多屬的真菌中；有些細菌具有多樣性可還原硝基及芳香族酵素之同功酶 (isozymes)。

農藥之結合反應：可分為在植物本身體內與碳水化合物及氨基酸之結合，及藥劑經微生物酵素分解後，再與烷基或硝基等等結合而降解其毒性。在植物本體方面，藥劑或其代謝物在其代謝的過程中與植物體內的化合物結合，可以促進藥劑毒性之降解、隔離、接收及/或礦化。植物體內最常見的是藥劑與葡萄糖的結合而形成的多種代謝物，如 O-, S- 及 N- 等配醣類、葡萄糖酯、龍膽乙醣苷 (gentibioside) 及丙二醯基葡萄糖 (malonyl-glucose) 結合體，最常見的是藥劑氧化後形成的氫氧基與葡萄糖結合，而成為 O-配糖體 (O-glucosides)。

藥劑與氨基酸結合之研究最多者，發現於使用 2, 4-D 於小麥及若干敏感性之闊葉性作物，產生易於水解之葡萄糖酯 (glucose ester) 代謝體，而成為對植物有藥害之 2, 4-D；相反地，當 2, 4-D 使用於對該藥劑具有容忍性的小麥，則藥劑易於與植體內之氨基酸結合而產生正-配糖體，此結合體相當安定，不被水解，也不會對對象植物產生藥害。藥劑使用後主要與植物體內之氨基酸結合的現象相當普遍，唯過去文獻大多集中在 2, 4-D 的藥劑上。

有關藥劑使用後之代謝及其毒性之降解消失的原始文獻頗多，自 1960 年代開始就有相關的報告出現，1970 至 1990

年間出現之文獻達到高峰。研究藥劑是以殺草劑最高，其次為殺蟲劑；藥劑別則隨其在市場出現之先後而異，以殺蟲劑為例，在 1960 至 1970 初以有機氯劑為主，其後以有機磷劑、氨基甲酸鹽劑為主，自 2000 以後其他藥劑之代謝研究亦陸續出現，詳細文獻請參閱湯嶋等 (1973)，Roger & Bhulyan (1995), Sethunathas (1989), Van Eend et al. (2003), Palmquist et al. (2012), Connelly (2001) 及 Fossen (2006) 等之綜述文章。

(3-2) 水稻殺蟲劑之代謝及其毒性之降解消失

水稻田殺蟲劑之代謝及其毒性之降解研究，主要出現於 1969 至 1989 由 Sethunathan 的研究團隊所發表，其後發表之相關研究相當有限 (Roger & Bhulyan 1995; Sthunathan 1989)。茲將有關稻田殺蟲劑之降解研究分別敘述如下：

有機氯劑 (Organochlorines)：這一類型藥劑大多屬於脂溶性化合物，無論在空氣中或田地中都相當穩定，較不易為物理環境因素或微生物分解，是農藥被人們認為極度可怕之刻板印象的原因。但在熱帶地區，如設在菲律賓之國際水稻研究所及在溫帶地區之日本的研究，發現當 γ-BHC 施用於水田後 90 天內就被分解消失，消失速度在熱帶地區較於溫帶地區的日本為快；然而 γ-BHC 的同質異構物 (isomers) α-, β-,

δ-BHC 在水田環境中較不易為微生物分解，其殘存期顯然地較之 γ-BHC 為長。其他有機氯殺蟲劑除阿特靈 (aldrin) 與地特靈 (dieldrin) 外，如滴滴涕 (DDT)、飛佈達 (heptachlor) 及安特靈 (endrin) 亦在水田環境下較在旱田環境易於分解，其中以 DDT 在乾旱土壤中之殘存期最長，達 3~30 年，平均為 10 年，是為最難分解之藥劑 (Edwards 1974)。在厭氣環境下，DDT 可被降解為 DDD，但其毒性並沒下降，且很難再進一步降解，此種情形亦發現於安特靈，在厭氣環境下較不安定，但其經降解之產物反而較為安定，不易進一步被分解 (湯嶋等 1973；Sethunathas 1989)。

有機氯劑在水田及旱田之物理、化學及生物上之特性有很大差異。在水田環境下適合厭氧性微生物生長：水田灌水幾天後就成為無氧狀態，僅適於厭氧性微生物生長，pH 值趨於中性穩定，氧化與還原作用急速下降，在此環境下適合於厭氧性微生物對較不安定之有機氯劑農藥的分解。在各地經常施用 γ-BHC 水田之土壤中均可分離出微生物 *Clostridium* sp.，並證明可以降解 α-及 γ-BHC，但無法降解 β-與 δ-BHC。γ-BHC 在未經抗生素消毒之土壤的半衰期約為 45 天，但在經消毒的土壤環境下則長達 80 天。稻田富含有機質者，如施用大量之稻藁或綠肥，可加速微生物在厭氣性

環境下之繁殖，增大其族群對有機氯劑農藥之分解，尤其在高溫環境 40℃下，加速微生物之降解作用特別明顯(Sethunathan 1989)。

然而由於大部分的降解物，如 DDT 變為 DDD 及 BHC 之同質異構物 β-BHC 等，則不易再被降解，可以殘留於環境中很長的一段時間；此外大部分的有機氯藥劑使用於有氧環境下，都較不易代謝被分解，而進入食物鏈，影響環境生態及食物安全，因此在臺灣所有有機氯殺蟲劑已於 1970 年代間全數被禁止使用。

有機磷劑 (Organophosphates)：有機磷劑中以巴拉松(parathion)，亦稱富粒多，最早被使用於水稻害蟲防治，但因其毒性強大，對人、畜及環境有不良影響，已於 1994 年被禁用，但其使用後之代謝和被降解模式，仍然被作為其他有機磷劑代謝和降解研究之重要參考。

巴拉松被噴佈於水稻後，很快就可滲透進入植物被吸收，而發揮治蟲作用，但藥劑本體可被植物之過氧化酵素(peroxidase) 及乙烯二胺四醋酸 - 亞鐵 (ethylenodiamine tetraacetic acid- Ferrous iron, EOTA-Fer2) 之催化而氧化及水解；過氧化酵素與乙烯二胺四醋酸–亞鐵分別可氧化 10 與12%之巴拉松為 paraoxon，並可分別催化水解 36%之巴拉松

為 4-硝基酚 (4-nitrophenol) 和催化還原 66%之巴拉松為氨基巴拉松 (aminoparathion)，再水解為 4-胺基酚 (4-aminophenol) 而失去殺蟲效果。praoxon 比巴拉松更具毒性且更不易被水解；EOTA-Fer2 及過氧化酵素分別只可催化 12%與 6%之 paraoxon 水解 (O'Brien 1967)。

另一方面，無論在熱帶或溫帶地區的水稻田水中，巴拉松在第一次使用後，很快就由硝基群 (nitro group) 還原為氨基巴拉松 (aminoparathion)；在第二與第三次使用後，由於能分解巴拉松之微生物 *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp. 或 *Flavobacteerium* sp. 族群隨施用次數之增加而增大，致使巴拉松在連續使用後之治蟲效果逐漸下降。*Pseudomonas* sp. 會將巴拉松水解成對–硝基酚 (p-nitrophenol)，然後再由對-硝基酚被代謝為亞硝基酸鹽 (nitrite) 與二氧化碳，顯示巴拉松在水稻田的環境下的壽命並不長，須重複使用才能有效地抑制害蟲危害，但一再重複使用，可促進有能力水解巴拉松之微生物族群的增長，而削弱藥劑對害蟲的防治效果 (Sethunathan 1989)。

甲基巴拉松 (methyl parathion) 與撲滅松 (fenitrothion) 的化學結構和巴拉松近似，與巴拉松一樣於施用於水稻田後很快地就可被分解，其中撲滅松在日本與印度有較深入的研

究。Takimoto et al. (1976) 發現撲滅松施用於四種不同土壤的水田後，很快都會被轉變為氨基撲滅松 (amino fenitrothion)。在上述四種土壤中有兩種土壤在淹水的環境下可加速撲滅松的降解，在淹水狀態下撲滅松的半衰期約 4 天，但在旱田情況下則可達 22~28 天；另外，在旱田撲滅松分解之代謝體主要為 3-甲基-4-硝基酚 (3-methyl-4-nitro-phenol) 與二氧化碳；但在淹水稻田，主要代謝體為氨基撲滅松。在熱帶地區的印度的研究結果大體上與上述現象相似，但在田間使用藥劑之半衰期於熱帶地區比溫帶地區為短。

大利松 (diazinon) 為另一種在 1960~1990 年代常被使用於水稻害蟲防治的有機磷農藥，國際稻米研究所首先發現，於連續使用大利松防治水稻害蟲，防蟲效果逐次遞降，三年後竟完全消失防治效果 (IRRI 1972)。其後以盆栽水稻，於分蘗期後每 30 天施用大利松粒劑 (1.5 kg a.i./ha) 一次，連續 5 次，於每次施藥後 2 天接入褐飛蝨檢視防治效果，發現第一次施藥後為 100%，第二次施藥後為 33%，第三次施藥後為 0%，證實了連續使用大利松會降低其治蟲效果 (Rao & Rao 1984)。進一步探討大利松失去治蟲毒性的機制，發現將大利松置於由先前連續施用大利松稻田的灌溉水中，經 3~6 天就

完全消失其毒性，但若將藥劑置於之前未曾施用過大利松稻田的灌溉水，雖經 20 天後仍可偵測到微量的藥劑成分。連續施用大利松之田水，經高壓蒸氣處理後，快速消降藥劑毒性現象即行消失，顯示微生物之作用可能是為最大因素。經幾次分離，終獲得 *Flavobactium* sp., *Arthrobacter* sp.及 *Steptomyces* sp.等三種微生物 (Roger & Bhulyan 1995; Sethunathan 1989)；這些微生物可水解農藥大利松，並將其水解產物 2-異丙基-甲基-6-羥基嘧啶 (2-isopropyl-methyl-6-hydroxypyrimidine) 代謝為二氧化碳。

在熱帶地區 *Flavobactium sp.*除可水解大利松外，並可水解巴拉松、甲基巴拉松及普滅松；而 *Pseudomonas sp.*則只可水解巴拉松及大利松，而不能水解屬於二甲氧基硫酸鹽化合物之甲基巴拉松與普滅松，顯示不同微生物對藥劑之水解具有其特殊性，一種微生物對同屬之有機磷劑並不一定都具有相同之降解能力 (Racke & Coats 1988; Sethunathan 1989)。

氨基甲酸鹽劑 (Carbalmates)：此類藥劑於 1960 代後由於水稻遭受褐飛蝨嚴重危害，使用相當頻繁。在早期，加保利 (carbary) 與加保扶 (carbofuran) 是兩種最常被使用於防治該種害蟲的藥劑，有關該兩種藥劑使用後之代謝與分解之研究亦較多。加保利在土壤中之有效持續性與土壤性質有

關，在硫酸鹽酸性土壤較在沖積土壤者為長，在土壤中之加保利水解物 1-萘酚 (1-naphthol) 的累積量與加保利的消失量具相關；1-萘酚可進一步被微生物 *Bacillus sp.*緩慢地代謝為 1,4 萘酚對醌 (1,4-naphthoquinone)。一般在淹水環境下加保利之降解速度較之於無灌水的環境下為快 (Rajagopal et al. 1984; Sethunathan 1989)。

在熱帶地區從三地方不同土壤 (沖積土、紅土、鹼性土)，取其懸浮體加入加保利，利用礦物鹽培養基培養，發現無論在哪種土壤，懸浮體取自之前曾使用過三次加保利者，其降解速度都較之從未使用加保利者為快，顯示有可能是之前曾使用加保利田之土壤含有豐富可降解該藥劑之微生物所致；從常使用加保利稻田分離出之微生物 *Achrobacter sp.* 無論在礦物鹽培養基或在水稻田間皆顯示對加保利具有異常的降解作用，尤其在缺氮肥的環境下之降解作用特別明顯，可能是在缺氮環境下，微生物需分解加保利以取得繁殖所需之養分；沖積土壤最有利於微生物之繁殖 (Sethunathan 1989)。

與加保利同屬於氨基甲酸鹽劑之加保扶，無論在熱帶或亞熱帶地區都被廣泛地用於防治水稻飛蝨及葉蟬類害蟲。於 1977 年首先在設立於菲律賓之國際稻米研究所發現，已連續

使用兩三年於防治褐飛蝨效果極為良好之加保扶，竟然完全失去防治效果，最先以為是褐飛蝨對藥劑產生抗藥性，但經比較褐飛蝨分別接蟲於使用過加保扶與未曾使用加保扶稻田，取得灌溉水的盆栽水稻進行取食檢測，經施用同劑量之加保扶粒劑處理，發現在前者加保扶之有效防治期遠比後者為短，顯示常施用加保扶的稻田可能含有可降解藥劑之微生物；進一步將常施用加保扶稻田之灌溉水加熱消毒後再灌溉於盆栽稻，則加保扶之藥效持續期間與用從未使用過加保扶的稻田水灌溉者幾無差異，證明在同一塊田常施用加保扶防治害蟲，將使可分解加保扶之微生物族群快速繁衍增長，致使之後施用同一藥劑很快就會被降解，而失去治蟲效果 (IRRI 1977, 1978)。

在熱帶地區，從常施用加保扶稻田已分離出三種微生物，*Arthobacter* sp., *Bacillus* sp.及 *Micrococcus* sp.可降解加保扶，其中 *Arthobacter* sp.並可降解加保利，因此在之前使用加保利防治害蟲之稻田，很可能影響加保扶之治蟲有效期間 (Roger & Bhuiyan 1995)。在水稻田厭氧環境下，加保扶會被微生物水解為酚加保扶 (carbofuran phenol) 堆積於土壤中，但於稻田排水後很快地酚加保扶就從土壤中消失。

利用 ^{14}C-carbofuran 觀察於稻田使用加保扶後藥劑被吸

收及消失途徑，發現藥劑被根吸收後，移轉至植物各部組織，隨時間之進展，部分被代謝成酚加保扶 (carbofuranphenol)、3-酮加保扶 (3-ketocarbofuran)、3-羥基加保扶 (3-hydroxy carbofuran) 及其酚類 (phenols)；利用自動放射線照相術 (autoradiograph) 追踪，顯示加保扶及其代謝分解物大多轉移囤積於老葉片之尖端，然後逐漸由葉片隨水分之蒸散作用逃脫大氣中 (IRRI 1977, 1978)。

在熱帶地區試驗發現，加保扶施用於水田中被降解速度較被施用於旱田為快速，而水田含有灌溉水者之被降解速度又較沒有含灌溉水之水田者為快。水的 pH 值高者可顯著地加速藥劑的降解速率。施用稻藁或硫酸胺與尿素於稻田，水稻對加保扶之吸收部分可被氮肥取代，而殘留較多的藥劑於水中，增加加保扶被降解之速度。此外，水稻田以前曾使用加保利防蟲者可加速之後使用加保扶之被水解速度 (Sethunathan 1989)。從上述現象可了解，經若干年在同一塊田使用同一種殺蟲劑後，可能會發現對害蟲之防治效果逐漸下降，直覺上可能會認危害蟲產生抗藥性，但實際上是因促進水解藥劑之微生物的族群增大，使處理後之藥劑快速地被分解，而降低防治效果。

合成除蟲菊類藥劑 (synthetic pyrethroids)：有別於有機

氯、有機磷及氨基甲酸鹽等藥劑，其對哺乳動物之高毒性，或因長殘效性對非標的生物之毒害，而嚴重地衝擊農業生態環境；合成除蟲菊類藥劑則相對地對哺乳動物與鳥類之毒性較低，並具易分解之特性，使其較適用於室內衛生昆蟲之防治；但在 1970 年代後期推出之合成除蟲菊類，已較之前上市者使用後具備較不易光分解之特性，可兼用於作物害蟲之防治。但整體而言此類藥劑對水生物，包含魚類及幼生長期生活於水中之生物，如蝌蚪、水蠆、孑孓、黽蝽類，以及若干中性昆蟲和浮游生物等無脊椎動物等之毒性頗強，對生態平衡的影響仍不可輕視，在使用時尚須特別留意。

合成除蟲菊類藥劑是屬於親脂性 (lipophilic) 化合物，具低揮發性、低水溶性、辛醇/水分配系數 (octanol/water partition coefficient, log K_{ow}) 較高，在自然環境下，於土壤中移動小，無滲漏地下問題，其降解途徑主要經由光分解及生物降解 (biodegradation)；一般而言，合成除蟲菊藥劑對陽光較為敏感，易引起同質異構化 (isomerisation) 或酯之裂解 (easter cleavage)，其結果在這類藥劑於代謝常表現菊酯與已氧化之菊酸或菊醇之結合的代謝體。代謝物的出現頻率及代謝物的特性，隨接受藥物之生物而異。在植物，合成除蟲菊類藥劑之代謝降解方式及代謝物，與在動物上者類似；在水

及土壤中之代謝降解亦復如是，其毒性經生物輾轉代謝降解而被削減消失 (Demoute 1989; Laskowski 2002; Miyamoto 1976)。

合成除蟲菊類藥劑使用時，因藥劑對土壤及有機物質有強烈結合的趨勢 (soil adsorption coefficient, K_{oc})，除非被風或流水帶著走，不太可能污染使用點以外地區。此類藥劑在有氧的土壤環境下之殘效持續時間，因藥劑種類之差異而有很大變異，半衰期從賽扶寧 (cyfluthrin) 之 11.5 天至畢芬寧 (bifenthrin) 之 96.3 天 (Palmquist et al. 2012)；於土壤中，光分解似乎是合成除蟲菊類藥劑類降解之主要途徑，以益化利 (esfenvalerate) 為例，在土壤不同條件下，其半衰期隨著置放於黑暗地點的日數 (無日照天數) 之增加而延長；於連續日照情況下為 7.8 至 100 天，相對於無光照下之 150 至 553.4 天 (Katagi 1991)。進一步分析土壤發現大量的益化利與土壤之腐土酸 (humic acid) 混雜在一起；益化利被吸附於淤積壤土者明顯地多於沙質壤土，因此推測藥劑在富含有機質土壤被光降解所需時程可能較長 (Lee 1985)。

微生物降解亦被認為除蟲菊類藥劑分解的重要途徑之一；將除蟲菊藥劑分別處理於田間自然土壤及經消毒的土壤，則處理於未經消毒之自然土壤者之降解速度明顯地較處

理於經消毒者為快。以亞滅寧 (cypermethrin) 及百滅寧 (permethrin) 為例，施用於自然土壤之處理者，於處理後 8 週，殘餘濃度降為原施用濃度之 20%，而於經消毒處理之土壤的殘留濃度為原施用濃度之 80%，顯示微生物於土壤中對合成除蟲菊藥劑之降解具相當貢獻；被降解之產物的毒性雖較母體化合物為輕，但在土壤中之移動性卻可能較母體為大 (Palmquist et al. 2012)。

當合成除蟲菊類藥劑在田間噴佈時，藥液因受作物葉片之阻礙，能噴及土面的藥量，推估只有 1/10 左右，容易被日光降解；而藥劑噴佈於土面者可同時受光及微生物降解，因此殘留於葉片部分之藥劑對葉片害蟲之毒性可能較噴及地面藥劑之殘毒為長 (Palmquist et al. 2012)。

合成除蟲菊於田間噴灑時，藥劑除可隨風飄散水面，亦可隨水流而污染溝渠，在中性及微酸水中，藥劑相當穩定，但其穩定性可隨水之 pH 值的增高而越不穩定。此外因藥劑飄散於水面的的數量有限，且其本質屬於低水溶性，及其對淤泥與有機物之吸附頗強，因此一般而言，飄散於水中之合成除蟲菊藥劑最終大多被吸附於溝渠中之淤泥，越下游地段濃度逐漸增高，且含有機質較高之壤土較砂質土壤為高 (Palmquist et al. 2012)。

為避免施用合成除蟲菊藥劑－賽滅寧 (cypermethrin) 於水稻田時污染鄰近環境，Simon (2015) 使用 PeFT rice model (該模式是依據藥劑之物理、化學性質、藥劑之代謝與降解方式，以及藥劑使用後之氣候情況等因素，模擬藥劑使用後之代謝降解情況，然後定期偵測水稻田水中藥劑殘毒之變化，供作田水排放，避免汙染環境的目的)，在菲律賓的稻田環境下模擬結果顯示，賽滅寧於使用後，其殘毒在水田中持續 5 天就接近於零，為避免溝渠及鄰近環境遭受污染，建議於藥劑使用後 5 天內經藥劑處理稻田之灌溉水不應由稻田中排出。

其他藥劑 (other insecticides)：益達胺 (imidacloprid) 屬新菸鹼類 (neonicotine) 殺蟲劑，與芬普尼 (fipronil) 屬苯基吡唑類 (phenylpyrazole) 殺蟲劑，因兩種類藥劑之防蟲種類多且具長效性，深受農友喜好，成為 1990 年代以來於亞太地區最普遍使用於水稻害蟲防治的殺蟲劑；然而於 2000 年代初就於東亞及印尼地區發現褐飛蝨及斑飛蝨對益達胺產生很高的抗性，而於東亞及東南亞地區之白背飛蝨與斑飛蝨則對芬普尼產生抵抗性 (Cheng & Zhu 2006; Liang et al. 2007; Matsumura et al. 2008; Sanada-Morimura 2012)。這兩種藥劑經多年使用，是否有可能似大利松或加保扶一樣，因連續使用

而被所培養出之高密度的微生物所分解，而失去防治效力？

在水稻田，益達胺與芬普尼是否與有機磷藥劑等殺蟲劑同樣地受到許多環境因素，如蒸發、光分解、水分解、生化降解、土壤有機質之吸附及隨水移動等之作用而降解消散。由於上述兩種殺蟲劑都屬系統移行性，可使用於育苗箱處理、稻田水面或土面撒佈，並可使用於根際處理 (rootzone applications)。在稻田於水稻不同生育期中，分別施用 20 公克 a.i./ha 與 80 g a.i./ha 之益達胺粒劑於稻田中，每隔 10 天施用一次，共施用兩次，然後偵測其代謝物，發現於施藥後第 1 天，在低劑量與高劑量處理的葉片上就可分別測得 4.57 mg/kg 與 13.90 mg/kg 之劑量，在處理後分別於 40 及 60 天就無法偵測到益達胺殘毒，在處理後 60 與 90 天於兩處理均無法偵測到其代謝物，兩種施用劑量之半衰期 ($t_{1/2}$) 分別為 11.14 及 12.04 天。

在水稻不同生長期取樣，益達胺之代謝物於藥劑施用後 30 天就可在土壤中發現，以尿素 (urea) 所占之比率最高，其次依序為烯烴 (olefine)、亞硝胺 (nitrosimine)、硝基胍 (nitroguanidine)、6-氯菸鹼酸 (6-chloronicotinic acid) 及 5-烴基 (5-hydroxy)；在水稻收穫時於穀粒、糙米及稻藁均無法偵查到其殘毒及代謝物 (Akoijam & Singh 2014)。代謝物中，

烯烴與亞硝胺對昆蟲仍具很強的毒性，而硝基胍則無殺蟲效果，但對哺乳性動物則仍具劇毒 (Fossen 2006)。

在稻田中，益達胺之降解是遭受多種因素，含光分解、水解、生化降解、吸附/解吸附，以及隨水移動等的綜合作用，消散 (dissipation) 之半衰期 ($t_{1/2}$) 為 2.0~2.4 天，益達胺的有效成分在施用後 35 天只剩施用後第 1 天最高濃度之 1~3%；灌溉水中的益達胺對日輻射非常敏感，光分解的半衰期少於 1 天，在土面上者之光分解半衰期為 39 天，在土中之半衰期則長達 229~265 天 (Bacey 2016; Thuyet et al. 2011)。

益達胺遭受水解作用雖隨水的 pH 值之提高而增大，於無光狀態下調整稻田灌溉水為 pH 7 及 pH 10 再施用益達胺，於施用後 35 天偵測其殘餘濃度分別較施用後 1 天的濃度下降 12%與 48% (Thuyet et al. 2013; Zheng & Liu 1999)，然而稻田之灌溉水一般近於中性，水解作用明顯地低於光分解。另一方面，由於益達胺之蒸氣壓 (vapor pressure) 1.0×10^{-7} mmHg (20℃) 及亨利定律常數 (Henry's law constant) 6.5×10^{-11} atm m^3/mol (20℃) 都較低，推測藥劑藉由蒸發消散之數量亦相當有限 (Fossen 2006)。

益達胺在土壤中之消失與土壤質地有關，益達胺在土壤之吸附係數 (soil adsorption coefficient) 很低，由 132~310

ml/g，且具高水溶性 5.14x10^2 ppm，有滲漏地下水之慮 (Bacey 2006)；藥劑消失速度亦與地面有無植栽有關，由於植物可持續吸收藥劑，在植栽地益達胺之半衰期 ($t_{1/2}$) 為 48 天，較裸地之 190 天為快 (Scholz et al. 1992)；土壤有機質含量之高低對益達胺在土壤之持續日數有密切關係，無有機物土壤之半衰期 ($t_{1/2}$) 為 40 天，含牛廄肥有機物，可增加土壤對益達胺之吸附量，半衰期為 124 天，而延長其防蟲效益。

有關土壤微生物與益達胺降解之研究，只發現從使用益達胺之田圃在室內分離出微生物 *Enterobacter* sp.與 *Leifsonia* sp.，於培養基上培養可降解益達胺，其代謝體為益達胺尿素 (imidacloprid urea) 與益達胺胍 (imidacloprid guanidine) (Sherma et al. 2014)；然而自益達胺從 1990 年代廣泛地被使用於水稻與其他多種作物以來，因害蟲對益達胺產生抗藥性而致作物嚴重損失之文獻屢見不鮮 (Cheng & Zhu 2006; Mathsumura et al. 2009)，但尚未見因益達胺使用後被微生物降解而失去藥效之報導，可能顯示微生物降解對益達胺之代謝消散，並非扮演重要角色。從上面所述，益達胺由土壤中被溶出水中，被光分解可能是其降解消散之主要因素。

芬普尼是另一藥效頗長的系統性藥劑，在田間之代謝消散方式與益達胺頗為類似。芬普尼因具較低之蒸氣壓 3.7x10^{-4}

mPa (25^{o}C) 與亨利定律常數 3.7x10^{-5} Pa m^{3}/mol，因此不易自行蒸散消失；其土壤吸附係數 (K_{oc} 平均值) 803，表示可以少量至中度被表土吸附，土壤之吸附程度與有機碳含量成正相關 (Bobe et al. 1997)；芬普尼之辛醇/水分配係數 (octanol/water partition coefficient, log K_{ow}) 為 4.01，表示傾向疏水性，推測芬普尼及其代謝物–芬普尼硫化物 (fipronil sulfide) 在土壤中之移動性較低，對地下水汙染之可能性甚低；芬普尼在土壤表面主要可能遭受光分解作用而降解，或受微生物之調解作用而附著於土壤；但在土壤表面下，則因受土壤吸附或緩慢地為微生物降解而消失 (Connelly 2001)。

芬普尼在田間之降解消散研究顯示於裸地之半衰期為 33~75 天，在草地為 12~15 天；在含有機質壤土之光分解的半衰期約為 34 天。在有氧環境下土壤微生物會緩慢地降解芬普尼，其中含有 27~38% 之醯胺 (amide) 及 14~24%的磺基 (sulfone) 之代謝降解物質；在砂質壤土測量芬普尼之半衰期為 122 天 (U.S. EPA 1996)。另外 Bobe et al. (1997) 在尼日 (Niger) 於無植栽陸地上施用芬普尼，發現在每公頃施用有效成分 8 公克的芬普尼，3 日後除可回收 25%之芬普尼及四種降解物質，在土壤還原層為芬普尼硫化物 (sulfide)，在水及土壤中之水解物為醯胺，在土壤氧化層之芬普尼氧化物

為磺基，此外並於土表分析出芬普尼之光分解物－脫亞磺醯基 (desulfinyl)；芬普尼在 0~10 公分土層之半衰期估算約為 36 小時。

芬普尼在水中之溶解度甚低 2.0~2.4 ppm (Kidd & James 1991)，施用後很快沉降而被含有機物之污泥吸附，主要降解物在厭氣環境下為芬普尼硫化物 (sulfide) 約占 74%，和少量在有氧環境下偵測到之醯胺、甲醯胺 (carboxamide) 及脫亞磺醯基 (desulfinyl) 等光分解代謝物，每種約占 4%。顯然在厭氣環境下芬普尼硫化物是主要代謝物，但在有氧土壤的環境下，則醯胺及磺基是為主要代謝物 (Feung & Yenne 1997)。

Ying & Kookna (2002) 認為芬普尼代謝之三種誘導體 desulfiny, sulfide 及 sulfone，於室內試驗證明土壤濕度為影響芬普尼之分解與降解之種要因素，高土壤濕度有利於芬普尼經由還原作用形成 fipronil sulfide, 但若土壤濕度少於 50%與無氧環境下則有利於氧化形成 fipronil sulfone；土壤微生物水解則可產生 amide，加速芬普尼之降解。此外芬普尼於水中或土面受陽光之分解作用可產生 desulfinyl，其半衰期約為 41~55 天；芬普尼之平均半衰期為 132 天，但與其分解物全體之半衰期為 188 天。

在美國加州、密西西比及德州等地稻田的試驗，除加州水稻種子係先經芬普尼可濕性粉劑 (700 g a.i./L) 粉衣後再撒入田水中，簡稱為種子粉衣區；其他兩地之試區則先將藥劑混入土壤後再將種子撒播於稻田，經 4~6 週後灌水，簡稱植前混拌區；兩處理均於種植後定期偵測芬普尼及其 4 種經分解之代謝物，每種分析物之定量極限 (limit of quantification) 在土壤訂定為 0.005 ppm，在水為 0.001 ppm。於藥劑與水接觸後，在加州種子粉衣處理區芬普尼及其代謝物在水中的濃度大於 0.02 ppm，其後逐漸下降消失。本劑與其代謝物在種子上之聯合殘毒半衰期為 7.3 天，其中本劑在水中種子上的半衰期估算為 1.7 天 。芬普尼於水中之光降解半衰期為 17.4 天，主要之代謝產物在水中之半衰期都低於定量極限。

在植前混拌區，本劑及其代謝物之聯合殘毒在種子及土壤之半衰期，於德州分別為 99 與 347 天，在密西西比分別為 35 與 97.6 天，在加州分別為 210 與 257 天；對芬普尼本身而言，在種子粉衣處理區與植前混拌區之種子與土壤之半衰期在德州分別為 12.6 與 18.8，密西西比分別為 16.6 與 17.4 天，在加州則分別為 11.9 與 11.9 天，代謝產物之降解率顯然較本劑芬普尼為慢。

芬普尼之土壤平均吸附係數 K_{oc} 值只有 803，但其代謝物芬普尼硫化物之 K_{oc} 值為 2719，磺基為 4209，光分解代謝物脫亞磺醯基為 1290，醯胺為 166。K_{oc} 值越大者被土壤吸附越強，不易在土中移動，因此表示上述之代謝物除醯胺較易於土壤中移動外，其他代謝物多屬於不易移動之產物，可在土壤中持續相當長的時間 (Mede et al. 1997)。

芬普尼之水解與水溶液之 pH 值有密切關聯，在溫度 22°C，於 pH 7 以下之偏酸性溶液，芬普尼相當穩定，歷經 100 天仍然保持有 80%之殘毒；但在鹼性之溶液下，芬普尼之降解程度隨 pH 值及溫度之增高而提高，在 pH 12 之降解速度約為在 pH 9 之 300 倍，水解之半衰期估算為 0.1~32 天；在 22~45℃，其半衰期由 114 小時降低至 18 小時。然而在田間灌溉水質一般多近於中性，可見水解作用並非是芬普尼在田間之主要降解因素 (Bobe et al. 1998; Ganasekara & Troung 2007; Thuyet et al. 2013)。

芬普尼對光分解作用則相當敏感，在 pH 5.5 微酸性的情況下，其半衰期測量為 4.1 小時 (Bobe et al. 1998)，顯示在田間自然環境下，光分解因素對芬普尼之降解較水解作用更為重要 (Connelly 2001)。

芬普尼在植物表面經光化學反應轉型產生脫亞磺醯基

(desulfinyl)，此產物對昆蟲的神經傳遞系統 (insect GABA system) 具不可逆的阻礙作用 (Hainzl et al. 1998)，顯示其代謝物對害蟲之毒性較芬普尼本身為長。此外按芬普尼及其代謝物對其他生物，尤其對屬於在陸上遊戲之鳥類以及水生物之毒性甚長，其代謝物芬普尼磺基之殘毒比芬普尼本身之影響更為長久 (U.S. EPA 1996)。

芬普尼在經消毒的壤土於 25~35℃之半衰期分別為 9.72 與 8.78 天，較在無消毒土壤之 33 天為短，顯示土壤中具有可分解芬普尼之微生物存在。在印度 Punjab 省，於曾使用芬普尼之甘蔗田分離出 *Bacillus thuringiensis* 於室內培養，可分解芬普尼主要為 sulfide，其次為 sulfone 與 amide (Mandal et al. 2013)。由上述芬普尼之代謝及降解現象，可見除光分解對芬普尼之降解較明顯外，土壤吸附可能亦為降解之重要因素，加水分解與微生物等分解因素所占比例較其他藥劑為低。

5. 水稻害蟲殺蟲劑的合理使用

使用藥劑防治害蟲，雖然其毒性無論直接或間接容易對生物環境造成很大的衝擊，然因藥劑取得容易，使用方便，效果明確，仍然是目前大多數從事水稻栽培的農民最喜好使用的一種治蟲方法，究其原因不外乎是因追求水稻高產所

致。事實上，提高稻米產量並不一定等於提高收益；因高產量是藉著提高肥料及合成農藥的使用費用，增加肥料與藥劑對環境的汙染以及可能降低米質 (因施用高氮肥易使水稻倒伏而產生的青米，以及所產生的米之蛋白質含量較高而影響米飯的口感) 所獲得的代價。解決之道，惟有靠推行市場的稻米分級，提高良質米的價格，才能誘導農友降低肥料及農藥的使用。茲將水稻害蟲殺蟲劑合理使用方法簡介如下：

(1) 適當的施藥時期

適當施藥時期是指最有效、經濟的施藥時期。每種害蟲因其族群消長變動和經濟危害基準不同，防治最適當的時期亦有差異。以臺灣目前較嚴重發生的水稻害蟲，稻飛蝨與葉蟬類而言，其族群發生消長模式大致相仿，由遷入稻田後第一世代 (出現於水稻分蘗期間) 之低密度，至第二世代 (出現於水稻孕穗期間) 之密度大多在經濟危害基準的水平左右，而於第三世代族群高峰期 (出現於水稻抽穗至糊熟期間) 造成嚴重危害 (鄭 1986, 1987, 1990, 2003；鄭與吳 1999；鄭與黃 2004)。由此種發生模式，若能在第二世代若蟲發生盛期徹底施藥防治 1~2 次，則可抑制該等害蟲於經濟危害基準之下，直至水稻收穫無須再施用農藥 (參閱圖二十六)。

稻飛蝨與葉蟬類害蟲產卵於葉鞘組織內，卵期在夏季約為 7 天左右，藥劑鮮少具有殺卵作用，藥效較長者可毒殺新孵化若蟲，但毒效較短者，如滅必蝨 (MIPC) 就無法毒殺新孵化若蟲，必須於第一次施藥後 7~10 天再行第二次施藥，才能徹底地抑制害蟲族群之快速恢復增長 (鄭 1979)。因此施藥需盡量選在絕大部分的蟲齡在 3~4 齡期至成蟲產卵前處理可獲得最佳防治效益 (Cheng 1983; Nagata et al. 1973) (參閱圖二十七)。大部分的水稻害蟲之幼蟲期有 5 個齡期，每一齡蟲對作物之危害量差異很大，在幼蟲最後兩個齡期的取食量約占全幼蟲期食量之 85~90%以上，防治噴藥期應選在大部分幼蟲在 4 齡蟲以前，可獲最大利益。

(2) 選擇適當的藥劑

在臺灣，政府對大多數作物之重要病、蟲都有推薦藥劑可供防治，這些藥劑都被合併登刊於植物保護手冊 (王等 2012)。本手冊所列之藥劑在 2012 年以前多由廠商提出申請對某一病、害蟲之防治試驗，經主管機關書面審查毒理資料後，交給執行單位擬定計畫，委由三個地區之試驗單位進行田間試驗，試驗結果召開觀摩會，並將試驗報告提交試驗小組討論通過後，再提交農藥諮議小組綜合討論決議是否推

薦，過程相當嚴謹，經推薦者即登錄於植物保護手冊，作為某一病、害蟲防治選擇之用藥。然而由於田間試驗之調查對象，只限廠商委託試驗所申請之標的病、害蟲，對其他病、害蟲之作用如何則無據可查，若田間作物同時遭受多種病、害蟲危害，就不易尋找出可供同時一併防治的適當藥劑。在此情況下若有兩種以上害蟲已形嚴重發生的情況，以選擇藥效較廣者，如益達胺 (imidacloprid) 之類的藥劑為佳；若只針對一種重要害蟲，如褐飛蝨則以選擇對天敵毒性較小的短效性藥劑，如滅必蝨 (MIPC)、丁基滅必蝨 (BPMC) 等，或害蟲生長調節劑，如布芬淨 (buprofezin) 為佳。唯生長調節殺蟲劑之藥效作用較慢，且只對卵及若蟲之效果較佳，勿待大部分飛蝨已變成蟲，或待族群密度已達 20~30 隻/叢以上時才行使用。

依據植物保護手冊或農藥販賣商店選購農藥前，最好先徵詢農業試驗改良單位，欲防治之害蟲對該農藥是否已產生抗藥性，尤其對遷移性害蟲在遷出地之抗藥性應特別留意，以免白費功夫；此外在植物保護手冊所列之延伸使用藥劑之防治功效，亦須加以確認該藥劑對標的害蟲的防治效果，才能獲得確切的防治效益。對害蟲防治效果之評估，一般以是否可將害蟲族群密度壓抑至經濟危害基準以下為依據。

(3) 施藥方法

防治水稻害蟲之施藥方法概略可分為葉面噴佈，粒劑土面或水面撒佈，根際處理以及秧苗箱藥劑處理等 (Chelliah & Bharathi 1994)，視害蟲在水稻上活動危害部位，危害時水稻生育期，以及施用方便性和經濟性以及對周圍環境的影響而定。

藥劑葉面噴佈 (foliar sprays) 是農友最常使用的方法，噴佈時須視害蟲棲息和危害部位，如黑尾葉蟬類、斑飛蝨、瘤野螟及其他活動於稻株上部者，可僅將藥劑噴佈於其活動部位即可；但如褐飛蝨、白背飛蝨、象鼻蟲類及非洲螻蛄等棲息於稻株中下部害蟲，則務必將藥劑噴及稻株基部；若植株上、下部位都有害蟲需要防治，則全株都需噴及，才能徹底防治。目前以褐飛蝨與白背飛蝨為最重要害蟲，當然需要全株都要噴到藥劑，才能發揮效果；然農民一般多以雇工，使用動力壓縮機將藥劑輸送到長桿上之多噴嘴的噴槍，在稻株上快速移動噴佈的噴藥方式進行防治，不但無法達到防治效果，尚可能引起害蟲再猖獗現象的發生。以全株噴藥之劑量計算，稀釋後之噴藥量在水稻分蘗期每公頃約需 800 公升，孕穗與抽穗後則每公頃需達 1,200 公升才足以完全被

覆；藥劑使用濃度因害蟲種類對不同藥劑之感受性差異頗大，有效濃度常隨害蟲之不同而異，但最高使用濃度一般不希望超過有效成分的 0.05%，效果優異的藥劑稀釋至有效成分 0.01%或更低，就可發揮良好的防治效果。如果使用地面超低容量噴佈法施藥，則需使用低容量噴霧器 (ULV Sprayer) 噴佈，噴佈方法請參閱植物保護手冊 (王等 2012)。

粒劑土面或水面撒佈 (brocast of granules)，是直接使用手或利用動力撒粒機，將粒狀殺蟲劑均勻地撒佈田面，使用方便，但成本較乳劑或可濕性粉劑之噴佈為高。在稻田無水情況時，土面須保持濕潤狀態，方能使撒佈之粒劑分解而被稻根吸收；在有水情況，則以保持水深 1 公分左右為宜，水太深則藥劑濃度會被稀釋，且多餘的藥液會往根部以下之土層滲漏，汙染地下水。使用粒劑每公頃用量，因藥劑所含之有效成分不同而異，一般是以所含之有效成分計算，每公頃最高以不超過有效成分 2 公斤 (2 kg a.i./ha) 為宜；以 3%加保扶粒劑為例，每公頃政府推薦用量為 60 公斤，相當為 1.8 kg a.i./ha。粒劑一般宜於水稻分蘖至孕穗期間使用之防治效果較佳，在水稻抽穗後使用，因稻根吸收能力已漸衰弱，防治效果往往不易獲得預期效果。

根際藥劑處理 (rootzone applications) 是指將藥劑用人

工或機械置入水稻根圈部位，由根部吸收藥劑毒殺害蟲。通常是使用緩解粒劑或將一般粒劑置入膠囊後，再利用器具或人工將粒劑或膠囊插入植株根系旁；另外亦有利用插秧機附帶之深層施肥器，將緩解粒劑連同肥料於插秧時一起置放於秧苗之根系旁。此外，在插秧前將粒狀藥劑撒佈於土面，然後使用曳引機將藥劑與土壤充分混拌之施藥法稱為土壤混拌法 (soil incorporation)，以及秧苗移植前將藥劑均勻撒佈於育苗箱之處理方法 (seedling boxes treatment) 都可視為一種變相之根際藥劑處理法。根際藥劑處理，因藥劑埋在壤土內與空氣及陽光隔離，分解較慢，其藥效通常可維持 40~60 天，隨藥劑種類而異 (Choi 1976; Heinrichs 1976; Hirao 1984; IRRI 1971~1975)。在 1977 年以 3%加保扶粒劑於臺灣第一、二期稻期間試驗結果顯示，對黑尾葉蟬與褐飛蝨之防治可維持 60 天左右，但因防治成本較高，且在水稻生育早期害蟲及病毒病害發生並不嚴重，其防治效益反不如以一般粒狀藥劑施藥法於水稻孕穗中、後期施藥者 (農試年報 1977)。

育苗箱秧苗藥劑處理，是另一種方便使用及節省藥劑的水稻害蟲防治法，特別適用於防治病毒病害媒介害蟲，或水稻生育早期病、害蟲，如稻熱病、水稻水象鼻蟲、稻心蠅及亞洲潛葉蠅發生較嚴重地區。育苗箱藥劑處理，一般是在水

稻種子播種前將藥劑，如 3%加保扶、3%丁基加保扶或 2%益達胺粒劑每箱 (60×30×4 公分) 20 公克，均勻地與土壤混拌後再播種，以防秧苗遭受媒介昆蟲與媒介病毒的危害。此外亦可於水稻插秧前 24 小時，每箱秧苗施用藥劑 50~100 公克，隨使用之藥劑能否產生藥害而定，藥劑施用後以竹竿將部分夾於秧苗上之藥劑掃落土面，並灑水至箱內的土壤之含水量呈現飽和狀態。插秧時將秧苗連同藥劑從育苗相捲起，置放於插秧機插植於本田，可以防治稻飛蝨類與葉蟬類害蟲達 1~2 個月或更長，隨藥劑種類而異。在插秧後 7~10 天應避免讓本田之土壤落出水面，以免發生藥害 (陳等 1980；黃等 2005；鄭 1977；Kiritani 1974, 1976; Nakanise 1970; Nemoto 2001)。

(4) 審慎使用藥劑

害蟲防治方法大別可以將之分為「預防」與「治療」兩大部分。由於大部分重要的水稻害蟲，多喜好棲息於潮濕而溫暖的環境，密植、施重肥及積水栽培是營造該種環境的主要因素；注重田間衛生 (如水稻收穫後儘快翻耕田土和摧毀稻樁與稻藁等)、栽植抗蟲品種、調整耕作方式、加強生物防治及使用誘蟲措施等，可以降低蟲源，減少害蟲遷入棲息及

增加其繁衍的阻力，是為實施「預防」措施的手段；當預防措施無法有效地將害蟲的族群密度壓抑達到經濟危害之容許基準時，才慎重考慮使用具選擇性或低毒性，可發揮快速效果的化學藥劑「治療」，以避免作物遭受經濟損失。此一防治策略除考慮防治方法的適當配合外，並考慮到害蟲的經濟危害容許基準，涵蓋作物各生長期對害蟲危害的容忍能力與害蟲的族群消長偵查，才慎重考慮有否需要利用藥劑防治的決策，將可大大地降低藥劑的使用頻率及可能引起的副作用，同時可以預防作物遭受病、害蟲經濟危害損失的風險 (鄭 2003)。這一套防治策略也就是一般所謂的作物害蟲綜合管理 (integrated pest management in crops，簡稱 IPM)。

第三節 水稻害蟲綜合管策略

1. 臺灣水稻害蟲防治沿革

水稻害蟲之防治策略是依據主要害蟲之發生種類，科技之研發進展以及社會之發展與需求而改變。臺灣在 1895~1950 年間，害蟲防治以獎勵使用物理、耕作及生物等防治法為主，需要時再施用一些植物性或礦物性藥劑防治，效果相當有限。在此期間水稻害蟲以三化螟最為重要，其他尚有鐵甲蟲、負泥蟲、黑蝽象及褐飛蝨 (或白背飛蝨) 等五

大害蟲 (三輪 1944；王 1948；李 1950)，當時的管理方法包括燈光誘殺成蟲、苗床網捕害蟲、採集卵塊保護寄生蜂、拔除枯心苗 (白穗株) 及掘除被害稻樁等，以防治三化螟；使用竹梳或拍打方式防除直紋捹蝶及瘤野螟的幼蟲；使用砒酸鈣防治負泥蟲或鐵甲蟲，應用魚藤、除蟲菊及石油等防治稻飛蝨與葉蟬類害蟲，以及應用硫酸尼古丁防治蚜蟲；此外並獎勵圈養鴨子於稻田捕食害蟲等措施。表面上看，此種防治措施已有害蟲綜合管理的雛形，但因對害蟲之發生生態尚未臻了解，害蟲族群密度、水稻被害程度及危害損失之間的相互關係尚未建立，致使害蟲之經濟危害基準無法釐定，上述各種防治方法的治蟲效果如何亦難以評論。然而從有關文獻的紀錄顯示，在日據時期與臺灣光復初期，糧食增產需求孔急，有關當局雖相當重視水稻病、害蟲防治，但因受限於防蟲知識及可資利用的資材，效果有限，重要害蟲種類亦無明顯變化。

1950 年臺灣自國外引入有機氯化烴類合成殺蟲劑 DDT 與 BHC 等，於水稻害蟲防治，效果非常顯著；其後陸續引入有機磷劑與氨基甲酸鹽系劑等，對以往之重要害蟲的防治效果更為快速有效，鐵甲蟲與黑椿象因而式微成為潛在害蟲，而三化螟與其他害蟲嚴重發生時亦可獲得有效控制，從

此養成了農民完全依賴藥劑於水稻病蟲害防治的習慣。其結果，與世界各地農民一樣，因過度使用廣效性合成殺蟲劑所出現的副作用，如抗藥性、再猖獗、汙染環境和食物，以及毒害非標的生物等現象亦一一在臺灣出現。例如在 1950 至 1960 年代，大力推薦 BHC、安特靈 (endrin) 及巴拉松 (parathion) 等劇毒、廣效性、且殘毒長的殺蟲劑，防治三化螟與二化螟等主要害蟲，雖然效果相當良好，但卻引起黑尾葉蟬、褐飛蝨及斑飛蝨等害蟲之抗藥性而大發生，以及由該等害蟲所媒介傳播之水稻黃萎病、黃葉病及縞葉枯病等病毒病害，於 1960 至 1970 年代間在臺灣中南部之大發生 (王與古 1983；古等 1976；古與王 1976, 1977, 1978；朱等 1975, 1976；邱 1971；邱與鄭 1976；陳 1978；陳與柯 1989)。同一期間，正值東南亞地區大力推行水稻綠色革命，種植半矮性秈稻，具高氮肥反應、產量高的水稻品種，引起了遷移性害蟲—褐飛蝨、白背飛蝨、斑飛蝨及瘤野螟等的大發生，並隨著西南季風向東北亞地區遷移 (李等 1964；程等 1979；Kisimoto 1971, 1976; Kisimoto & Sogawa 1995)，臺灣自然亦難幸免遭受其害 (劉等 1989；鄭與盧 1990；Huang et al. 2010)。

為了防治年年造成嚴重危害的褐飛蝨，政府研究單位除

了努力篩選有效藥劑提供農友應用外，並從害蟲的生態面、田間害蟲族群發生情況，以及危害損失與防治成本的利益考量等，釐定經濟危害基準、害蟲的防治最適當的時期及施藥方法，以期能合理地使用農藥 (參閱第陸章第一節第 4 項)，降低其可能引起的副作用 (鄭 1979, 1990；劉等 1989；劉與張 1978；Chen & Cheng 1978; Cheng 1983)。

另一方面，水稻對褐飛蝨與白背飛蝨的抵抗性篩選和育種研究亦自 1970 年開始積極展開，截至 2011 年育成抵抗褐飛蝨的水稻已達 45 品種 (鄭 2003)。雖然透過農民教育，積極推廣水稻害蟲綜合管理觀念，期望能藉由降低農藥的使用頻率，減少農藥對環境的衝擊。但很明顯這一期望並沒有達成，失敗的原因很多，最主要的是臺灣因人們飲食習慣改變，稻米的生產已供過於求，無論政府或農民都缺乏積極想要改變的態度，而稻穀保證價格收購可能為最主要的因素。臺灣並未實施稻米分級制，農民為追求稻米高產，在表面上是獲得最大利益的方法，但它往往是依靠施用重肥與農藥獲得的成果，而施用重肥與農藥，就如同上面所述，已有許多文獻指出，除污染環境外，亦是導致水稻病蟲害嚴重發生的最重要原因。

2. 水稻害蟲綜合管理

(1) 害蟲綜合管理的概念

害蟲綜合管理 (integrated pest-insects management，簡稱 IPM) 的概念是由害蟲綜合防治 (integrated pests control) 的觀念延伸而來，此一觀念原本只是將生態的原則導入，以調合運用天敵和殺蟲劑兩種方法於害蟲防治 (Bertlett 1956)，其後進一步將此整合的觀念擴大到所有的防治方法，強調依據生態學基本原理，組合任何可以相互調和使用的防治方法於一個系統，以維持害蟲密度於經濟危害水平之下。這一防治系統的內涵兼具了防治技術 (tactics) 和策略 (strategy)。防治技術包括物理防治、耕作防治、生物防治及藥劑防治等等的防治方法；而防治策略的釐定則以研究害蟲的族群動態，作物各生長期對害蟲危害的容忍性與危害損失、經濟危害水平之釐定及害蟲族群監測與取樣技術等所獲得的資訊為基礎，作為評估防治技術之組成、防治時期的判定，以及防治效果的考評等。基本上，害蟲綜合管理強調的是害蟲族群的管理，依據生態學基本原理組合任何防治效果不互相矛盾，可以相互協調或相乘的方法，以維持作物上各種害蟲族群及病害危害等級於經濟危害基準之下，使作物生產獲得最高收益、低風險及低環境負面影響的要求 (Metcalf & Luckmann

1974; NAS 1966; Stern et al. 1959)。

害蟲綜合管理體系的基本原則，在於藉維持一個穩定生態系統的方法來「管理害蟲的族群」，這與傳統的觀念「消滅害蟲」(事實上根本不可能) 有很大的差異；和自然農法 (不作任何人為的防治措施) 與有機農法 (不使用合成化學肥料及農藥) 的栽種體系比較，綜合管理雖然主要是藉重生態力量 (無論是自然的或人為的) 維持害蟲的族群於吾人訂定的容許水平之下，但當生態力量無法維持時，可以在適當時間使用適當的藥劑加以抑制；而自然農法與有機農法雖然與綜合管理相同，藉重生態力量抑制病蟲害，但無論在作物遭受多麼嚴重的病蟲害，都不能使用效果快速的合成化學藥品去抑制病、害蟲，需要承受很大病蟲害損失的風險。

(2) 水稻害蟲綜合管理的實施沿革

害蟲綜合管理的理念在實際應用時可以因時、因地，或因害蟲之變動而制宜，防治體系內容可以隨各地區害蟲發生種類及其嚴重性而變動。在東南亞熱帶地區，實施內容一般包含改變耕作方式－由連續而無秩序的栽培方式改變為整齊的期作式栽培，栽植抵抗性水稻品種，注重生態保育及生物防治，以及害蟲族群監視 (pest surveillance) 等為綜合管理

之主要架構，需要時再謹慎考慮使用藥劑防治 (Gallagher et al. 1994, 2009; Kenmore 1991; Oka 1979, 1988)。

自從 1960 年代以來，褐飛蝨、白背飛蝨及瘤野螟等遷移性害蟲一直是東南亞及東北亞地區水稻的主要害蟲，肇因國際水稻研究所於 1966 年開始在南亞與東南亞各國大力推廣種植耐肥、豐產的 IR8，以及其後之 IR 系列品種後，引起褐飛蝨猖獗地發生與危害，並隨西南氣流遷移而波及東亞水稻栽培區。有鑑於危害情勢的嚴重，亞太糧食肥料技術中心首先於 1976 年 10 月在日本東京召開褐飛蝨國際研討會，藉以了解該種害蟲的發生生態，探討導致其嚴重發生危害的原因，以及討論可能解決此項問題之研究方向 (ASPAC 1977)。緊隨其後，國際稻米研究所於 1977 年 5 月召開水稻褐飛蝨國際研討會，探討引起褐飛蝨大發生的原因，和可能解決問題的研究方向。研討會的結論指出，在灌溉區連續密集種植豐產品種水稻，提供害蟲周年不斷的食物與繁衍場所，及施用重氮肥增加害蟲的繁殖潛能，而濫用農藥毒殺害蟲的天敵，使問題更形惡化。研討會並倡導加強抗蟲品種之培育的重要性，並強調只有實施害蟲綜合管理策略，才能避免褐飛蝨之猖獗危害 (IRRI 1979)。綜合管理之要點，大體上是結合抗蟲品種、耕作方法的改善 (特別注意期作栽培及

肥、水管理)，以及生物天敵之保育與應用等，於需要時再謹慎地考慮使用藥劑。

亞洲熱帶地區國家，在 1980 開始接受聯合國糧農组織 (FAO) 的協助，開辦水稻病蟲害綜合管理計劃 (簡稱 FAO-IPM 計畫)，該計畫非常注重農民在「農民學校 (farmer field school)」的田間實際訓練 (on farm training)，使農民在最小的協助下，熟習 IPM 的操作。計畫的主要內容包含害蟲族群的監視、寄主植物對病蟲害的抵抗性、害蟲天敵的保育與應用，以及農藥的合理使用等的介紹及田間示範，讓農民獲得第一手的生態概念及 IPM 的操作經驗，藉以增強農民對病蟲害綜合管理的實際操作能力。從 1980 至 2002 年，這種訓練在 13 個國家舉辦，包含菲律賓、印尼、馬來西亞、斯里蘭卡、印度、尼泊爾、孟加拉、緬甸、泰國、寮國、柬埔寨、越南及中國等。在上述國家接受 IPM 訓練的農民合計超過 200 萬人以上 (Pontius et al. 2001)，其中以印尼接受訓練的農民就達 150 萬為最多 (Oka 2003)。農民接受 IPM 訓練後，減少農藥使用高達 50~80%，仍可維持一樣的產量，甚或增產 (Matteson 2000)。

另一方面，在亞洲熱帶及亞熱帶地區，水稻在分蘖初期時就可能遭受瘤野螟 (俗稱縱捲葉蟲) 的危害，由於水稻植

株幼嫩，被害植株常是 3~4 片葉被捲在一起，幼蟲躲藏於蟲苞內啃食葉片；農民為恐葉片被害影響植株發育，大多數噴灑農藥防治，往往就毒殺了剛遷入稻田的害蟲天敵。但在國際稻米研究所田間試驗發現，瘤野螟在水稻分蘗期的危害，即使不施藥處理，亦罕有減少產量的現象 (Heong 1990, 1993)；此外 Heong & Escalata (1997) 在菲律賓幾個地區的農民稻田試驗證明，水稻在移植後 30~40 天內沒有使用藥劑防治瘤野螟的處理，與農民使用 1~3 次藥劑防治的稻田比較，無論是水稻的發育或產量並無明顯的差異，隨建議東南亞地區農民在水稻移植後 30~40 天之內，若遭受瘤野螟危害，並不會影響產量，無需施用農藥，以保育天敵；越南湄公河三角洲農民響應該項建議，從 1992~1997 年每期稻減少施藥次數 1~3.1 次 (Escalada et al. 1999)。水稻在分蘗生長期，遭受病蟲危害比較容易再生而獲補償，但在此期中，若施用廣效性殺蟲藥劑，對剛遷入稻田的害蟲天敵將遭受毒殺，勢必影響其後天敵與害蟲之比值，將很難達到有效控制害蟲族群於容許水平以下的狀態，且施用廣效性藥劑後可能導致害蟲產生再猖獗，而致使水稻於生育中、後期遭受害蟲嚴重危害的主要因素 (寒川 2009；Escalada et al. 2009; Heong & Schoenly 1998; Xuyen 1997)。然而由於這項結果是在熱帶地

區的秈稻試驗所獲，秈稻和粳稻對害蟲危害的反應並不完全一致，粳稻生育早期受害是否可以像秈稻一樣具有很強的恢復能力，有待進一步證明。

在溫帶地區，日本於 1965 年後，就已普及水稻機械栽培，藥劑大多於水稻移植前 1 天撒佈於育苗箱，然後連同秧苗一起移植於田間，除可防治水稻生育早期害蟲 (具有 40 天左右的防治效果)，並可預防蟲媒傳播之病毒病害，效果高且省力 (Hirao 1984)；其後長效型藥劑，例如益達胺 (imidacloprid) 及芬普尼 (fipronil) 於 1990 年代相繼問世，使用育苗箱藥劑處理，對褐飛蝨、白背飛蝨、斑飛蝨、二化螟及瘤野螟等具有 60 天左右的防治效果，其後若有需要 (害蟲族群超越經濟危害水平) 再施用 1~2 次藥劑 (上和田與鳥越 1998；平井 1998；石黑 1998)。因此雖然 Kiritani & Naba (1994) 認為栽植抗蟲品種，結合改變害蟲生活環境–含水稻之培植密度、肥水管理、田間衛生，及保育天敵 (以捕食寄生性、捕食性天敵、及自然感染性微生物為主)，必要時使用合成殺蟲藥–以短效性農藥、害蟲生長調節劑、微生物製劑、性費洛蒙及忌避劑等對天敵毒性小且殘毒短之藥劑，以供一時性降低害蟲密度，便於提高天敵對害蟲的比例，使害蟲的密度恢復至天敵能夠控制的範圍等，終將成為日本實施水稻

害蟲綜合管理的策略。但迄至目前，日本因農民人口老化，在大多數地區，仍然依賴育苗箱藥劑處理，然後在害蟲發生族群增長的嚴密監視下，於需要時再撒佈藥劑處理的策略為主 (Watanabe et al. 2009)。

臺灣、中國大陸、南韓及越南等地區的水稻害蟲管理，受日本的管理策略影響頗大，尤其在 1970 年以前，水稻病蟲害多以化學藥劑防治為主。其後因發現國際稻米研究所所育成之抵抗性水稻品種對褐飛蝨族群具明顯的抑制效果，各地亦紛紛投入研究，培育適合該地區栽植的抗蟲稻種。就臺灣而言，經使用國際標準秧苗檢定法 (standard seedlings screening test)，檢定臺灣在 1970 年代以前栽植與保存的品種，結果發現除極少數水稻品種對黑尾葉蟬具有抵抗性外，對褐飛蝨等害蟲都無具抗蟲性 (鄭 1973；Cheng & Chang 1979)。嘉義農業試驗分所於 1970 年開始著手從事水稻抗褐飛蝨研究，其他試驗改良場所亦陸續加入，由 1973 至 2011 年育成抗褐飛蝨的水稻多達 45 品種 (參見表二) (鄭 2009)。栽植抗蟲品種，即使是屬於中等抗性程度的品種，就可減少施藥次數達一半以上，經濟效益非常顯著 (參閱圖二十七與二十八) (鄭 1976)。惜在臺灣與亞洲許多國家一樣，在早期所培育之抗褐飛蝨的水稻品種大多帶有 *Bph1* 或 *bph2* 的抗蟲

基因，從以往在南亞的栽培經驗，顯示當這類由單主效基因所支配的抗蟲品種，被大面積連續栽植 2~3 年後，就可能產生可適應於含有上述抗蟲基因水稻之有害生物小種 2 號 (biotype 2) 或生物小種 3 號 (biotype 3)，使辛苦育成之抗蟲水稻品種之抗蟲特性因而崩潰 (寒川 1992；Huang et al. 2007)。由於褐飛蝨等為長距離遷移性害蟲，一旦在東南亞地區產生有害生物小種，很快就可隨氣流遷移侵入東亞水稻區。在臺灣栽培含有 *Bph1* 基因 (例如台農 72 號與台稉 16 號) 及 *bph2* 基因 (台中秈 10 號) 之抗蟲品種，分別於 1990 年代初期及末期，就因有害生物小種的個體在褐飛蝨族群中之占有率逐漸增加而產生「蝨燒」，使原來想利用栽培抗蟲品種，減緩殺蟲藥劑之使用頻率的構想為之破滅。現今政府推薦栽培的良質米品種對褐飛蝨危害幾已無抗性可言，對該蟲之防治似乎又要恢復到使用殺蟲藥劑為主的時代 (鄭 2003)。

褐飛蝨與白背飛蝨等遷移性害蟲，可以周年繁殖地區的北限約在元月等溫線 19℃附近，該線通過越南紅河三角洲、海南島及呂宋島北部。栽植於這些地區的抵抗褐飛蝨水稻品種大多含有 *Bph1* 或 *bph2* 的抗蟲基因，在 1990 年代前因褐飛蝨產生有害生物小種已失去抗蟲作用，且在 1990 年代後紅河三角洲開始自中國引入雜交稻栽培，至 2006 年栽培面

積以佔紅河三角洲之 70~80% (Thanh 2006)。在目前雜交稻無論對褐飛蝨或白背飛蝨皆無抵抗性 (Sogawa et al. 2009)，且極適於白背飛蝨生長繁衍，導致農民只有使用藥劑防治一途。同樣現象亦出現於華南地區 (Fu 2006)。在大面積長時間使用相同藥劑後，很快地在 1990 年後期就發現在東南亞許多國家，包括印尼、馬來西亞、泰國及越南等地，與東亞地區含中國、韓國、日本及臺灣等地的褐飛蝨，對於被廣泛使用於防治之系統性長效型藥劑—益達胺產生很高的抵抗性，而白背飛蝨則對芬普尼產生很強的抵抗性 (黃 2013；Liang et al. 2007; Matsumura et al. 2009)，由於這兩種藥劑，都是自 1990 年代初期就分別被用於防治褐飛蝨、白背飛蝨及瘤野螟等遷移性害蟲的主要藥劑，在產生抗藥性後，農民提高劑量仍繼續使用，嚴重傷害天敵的抑制效力，終於在 2000 代初引起水稻瘤野螟與稻飛蝨在越南北部、華南及長江流域等地區的發生逐年嚴重，尤其在 2005, 2006 及 2007 年的大發生 (Cheng 2009; Chien et al. 2007; Watanabe et al. 2007)。Cheng & Zhu (2006) 分析中國大陸在 2005 年遭受稻飛蝨嚴重危害的原因，雖然因素相當複雜，但稻飛蝨對益達胺及芬普尼產生抗藥性可能是為最主要的因素 (Cheng 2009)。

臺灣自 1950 年代以來，對水稻害蟲防治，一直依賴合成化學藥劑處理，雖然推薦於褐飛蝨的藥劑達 50 餘種，但目前這些藥劑對害蟲的防治效果如何？除於 1975~1977 年曾進行一次之重複篩選試驗外 (鄭與劉 1978)，就未再進行篩選。迄至 2012 年經登記於植物保護手冊推薦於防治褐飛蝨與黑尾葉蟬之藥劑達 82 種，白背飛蝨者只有 1 種，斑飛蝨者有 13 種，瘤野螟者有 21 種 (王等 2012)，這些藥劑歷經田間多年使用後，是否尚有防治作用，亟待檢討，否則有可能會和越南、中國大陸及日本一樣，在遷移性害蟲發生嚴重時，找不到有效藥劑可供抑制其肆虐危害的窘境。

國際稻米研究所因審查稻飛蝨 (包含褐飛蝨、白背飛蝨、斑飛蝨以及此等害蟲們所媒介的病毒病害) 對亞洲，尤其是東亞地區水稻生產的威脅，有死灰復燃之勢 (Cabauatan et al. 2009; Cheng 2009; Zhu 2006)，於 2008 年 6 月在該所召開國際稻飛蝨研討會，除探討稻飛蝨為何在聯合國糧農組織 (FAO) 於東南亞國家推行綜合管理策略後，經過一段時間的沈寂，又再度猖獗的原因，並討論發展新的防治方法，提供建立永續管理策略之基礎 (Heong & Herdy 2009)。FAO 植物保護組長 Dr. Peter Kenmore 曾因褐飛蝨問題在印尼工作數年，在本研討會中致詞，強調稻飛蝨的問題，是因農民過度

恐懼其巨額投資生長的水稻遭受蟲害損失，不當施用殺蟲劑所引起。綜觀亞洲各國近年來稻飛蝨發生危害狀況，Catindig et al. (2009) 指出，除了越南與中國，因農民一直依賴藥劑為管理稻飛蝨的策略，稻飛蝨的問題比較嚴重外，其他的國家因實施水稻綜合管理策略，大幅降低農藥使用，稻飛蝨的問題就較之為輕微。以印尼為例，在 1970~1980 年間褐飛蝨問題非常嚴重，1986 年大批農民接受 FAO 水稻害蟲綜合管理訓練，大大地提升農民對害蟲天敵的認識以及保育的重要性。在同年 Suharto 總統頒布法令，將多種對天敵具有劇毒，以及使用後可能引起害蟲產生再猖獗的 57 種農藥禁止輸入使用。這項作為，使印尼成為東南亞地區第一個將天敵實際應用於害蟲綜合管理體系的國家，這可能是自 2000 年以來，稻飛蝨在印尼的發生密度遠較其他國家為低的主要原因 (Catindig et al. 2009)。可見從生態面改善耕作方式，善用生物天敵，以及需要時再慎選農藥施用，要較完全依賴藥劑防治方法者為經濟、安全及永續。

(3) 臺灣水稻害蟲綜合管理待努力的課題

害蟲綜合管理系統所含的管理技術，當然可以隨地區水稻栽培習慣、害蟲的發生種類、可供應用的防治資材、經濟

效益以及可能產生的副作用等因素，綜合考量後決定。一般而言，Kiritani & Naba (1994) 所倡導之水稻害蟲綜合管理大綱 (請參閱本章第 2 節) 亦適用於亞太各地區。然而現在亞太地區多數國家，抵抗褐飛蝨的水稻品種，因有害生物小種的產生，目前多以含 *Bph3* 抗蟲基因的水稻資以對應；但對白背飛蝨與斑飛蝨而言，目前尚未積極推薦抵抗性的水稻品種給農民栽植，若遭受稻飛蝨混合危害，只有藥劑可供救急。長遠考量，實施綜合管理，降低對藥劑的依賴，還是被認為才是一種可長可久的防治策略，而栽植抗蟲品種仍然被認為是為實施綜合管理最重要的基石 (Catindig et al. 2009)。但從以往的經驗，已知若抗蟲品種受單主效抗蟲基因所支配者，容易被褐飛蝨適應而失去治蟲作用，因此開發含有一個以上或多因子的抗蟲品種是為亟待研發的課題。

此外由於越南北部及華南大面積種植雜交稻，特別適合於白背飛蝨的繁殖，導致白背飛蝨遷移侵入臺灣的蟲數，自 1990 年代後期以來就遠遠的超越褐飛蝨 (參閱圖十)，在稉稻上除於 2013 年因褐飛蝨與白背飛蝨遷入蟲數俱增，受害較為嚴重外，通常少有遭受嚴重危害而產生「蝨燒」的現像；但在秈稻如台中秈 10 號或台農秈 22 號等主要栽培品種，則常遭受白背飛蝨的危害而產生蝨燒；在北越及中國長江流域

以南之秈稻及雜交稻栽培地區，遭受白背飛蝨之危害則更為嚴重 (Cheng et al. 2009; Tang et al. 1995)。 臺灣以往雖然從育成的水稻品種中已篩檢出若干秈稻品種，如嘉農秈 6, 8, 11 號，台中秈 3, 5, 16 號，台農秈 14, 18, 19 號，及台中秈糯 1 號等對白背飛蝨具有抵抗性 (參閱表二) (鄭 2003)，可惜這些品種都沒有在政府推薦的良質米名單中。因此在已被推薦為良質米之秈稻或稉稻的品種植入抵抗白背飛蝨及斑飛蝨的抗蟲基因，是為另一有待努力的課題。

水稻抗蟲性的篩檢方式的改進，以往是依國際稻米研究所所建立之標準秧苗檢定法實施 (Heinrichs et al. 1985)，該檢定法可快速篩檢數量龐大的雜交後代品系之抗蟲程度，但該種方法只反映水稻品種對害蟲危害取食的結果，但無法反映成蟲取食及產卵之偏好、植株對卵的抵抗性，以及充分反應植株與害蟲的相互作用，因此有多位學者建議宜仿照田間水稻成株檢定，一般稱為成株檢定法 (adult-plant screening test)，於水稻種植後 30 天左右，始接入少數長翅型成蟲，讓其自由選擇水稻品種產卵、危害 (鄭 1985)。經由成株檢定選出之抗性品種，較接近水稻在田間受害的情況，抗蟲的實際情況，可能會較應用秧苗檢定選出者更為真實 (Horgan 2009; Brar et al. 2009)。

在增強害蟲天敵的保育與應用，以及調整水稻之栽培管理，營造不適於稻飛蝨，尤其是褐飛蝨的棲息環境，是最為需要努力的另一研究重點。Gurr (2009) 提出應用「生態工程」(Ecological engineering) 的概念於褐飛蝨防治，例如在水稻田的周圍田埂，或在稻田兩端預留的「生態保留地」種植花草或作物 (如芝麻、秋葵、大豆、燕麥及油菜等花期較長之作物)，提供天敵棲地與替代食物 (替代寄主、獵物、花粉及蜜露等)，保育寄生性與捕食寄生天敵 (parasites and parasitoids) 渡過水稻收穫後之空田期，藉以提升下期作水稻插秧後遷入稻田之天敵數量；另一方面，在稻田施用含有家畜糞便之有機廄肥，增殖浮游生物 (plankton)，促進稻田內如搖蚊類 (*Chironomus* spp.) 與蠅類等中性昆蟲的繁殖，提供捕食性昆蟲類、蜘蛛類以及蛙類等天敵，在遷入稻田初期之的替代食物，藉以引誘及留住天敵在稻田繁衍 (鄭 2003)；此外在水稻種植後 30~40 天內盡量避免施用農藥，如無法避免，則以使用秧苗箱藥劑處理或微生物製劑為原則，避免傷害天敵，促進生物防治之效益。這些措施對稻田大部分的灌溉、排水溝渠及田埂水泥化的臺灣，應該多加思考如何保育天敵 (請參閱第陸章第二節生物防治)，讓生物防治在害蟲綜合防治體系中能扮演更重要的角色。

因應稻飛蝨類喜好溫暖、潮溼環境的特性，可從營造不適於稻飛蝨類之棲息環境方面著手，如改變水稻品種、種植的行株距及調整肥、水管理等 (參閱第陸章第二節第二小節)，使水稻發育不致太過茂盛，而影響空氣在水稻株間流通與陽光透入稻叢間，才可能有效地降低害蟲棲地之濕度，而降低稻飛蝨類害蟲之遷入及繁殖。藉由改變環境以降低稻飛蝨和其他害蟲族群的效果，實際上是為生態工程的另一面向，藉由營造不利於害蟲棲息繁衍的環境，以緩和害蟲的增殖，其效果雖然不如使用殺蟲劑的快速、明確，但絕不會引起稻飛蝨產生抵抗性或再猖獗，及影響天敵之增殖，並可減少污染環境的副作用。在臺灣，以新竹以北地區的水稻，與中南部地區比較，少有遭受褐飛蝨危害成災的現象發生 (蕭等 1985)，推測與每年在 10 月上旬左右開始遭受東北季風 (九降風) 之侵襲，降低稻田之濕度有密切關係。

遷移性害蟲仍然是目前臺灣水稻的主要害蟲，除積極培育抵抗性品種外，藉調整水稻的栽培及管理技術，以營造不適於害蟲棲息繁衍環境，並增進天敵在田間之繁殖、捕食及寄生率，是為補強水稻害蟲綜合管理的重要研究課題。此外由海外遷入害蟲的種類及其族群消長，遷入害蟲對抵抗性水稻品種及對農民常用藥劑之抵抗性，以及遷入蟲是否可能媒

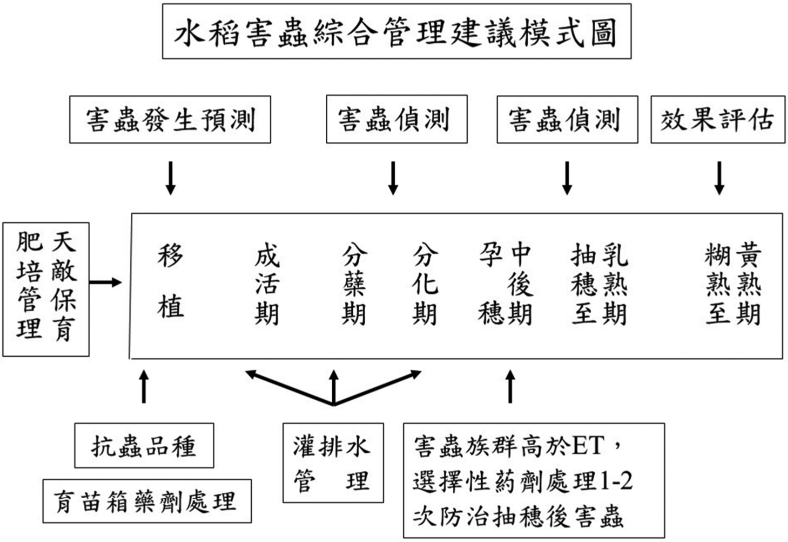
介帶入病毒病害等都需要長期加以監視，以便掌握蟲情，調整防治對策，才能落實管理的效果。

總而言之，田間害蟲的發生情況是動態的，尤其是遷移性害蟲，除偵查其遷入情況外，並需隨時掌握該等害蟲在臨近國家發生情況與防治策略與技術的變動，這在如臺灣等研究人員有限的地區尤為重要。因此如何爭取國際合作及政府在人力與經費支援，是另一有待克服的難題。

此外，長期以來作物保護者，一直期望能朝向將病、蟲、草害整合在一個管理系統，配合農友的田間作業程序、作物的生長，以及病、蟲、草的發生情況等，綜合考量，整理出一套有利而不相互抵觸的耕作程序，資以簡化農友對作物保護之困擾，才能真正達到作物之安全、經濟、有效的健康管理目標。

(4) 臺灣水稻害蟲綜合管理策略之商榷

如上項所述，害蟲綜合管理之內涵是可以隨時隨地因作物耕作習慣、害蟲發生情況、可使用於防治之資材、以及社會之期望等而變動。按臺灣目前環境，應可如圖三十六所示實施，藉以豐富生態因子，減少農藥使用，才能降低害蟲之嚴重發生。茲將本圖示之各項要點概要說明如下：



圖三十六、水稻害蟲綜合管理模式建議圖。

(4-1) 天敵保育與增殖

改善稻田植被藉以保育害蟲天敵，豐富水稻田之生態系，增進生物彼此之間的牽制力量，可以避免害蟲族群大幅度的波動，降低蟲害損失風險。目前臺灣之稻田的田埂及灌、排水溝渠水泥化，無論是捕食性或寄生性天敵的棲所及食物都受嚴酷的限制，且因天敵的繁殖率遠低於害蟲，致嚴重影響天敵能抑制害蟲之比值，而使在第一、二期稻作，都無法似熱帶地區利用天敵即能有效地抑制害蟲族群的增

長。在現有的環境，只能指望利用「生態工法」保育及增殖天敵 [請參閱本章節第 (3) 項]，以期在害蟲遷入稻田密度尚低的時期，能有較高比值的天敵捕食始遷入之成蟲或寄生其卵，降低害蟲的蟲源，較有可能抑制害蟲在其後之大幅增長。若不設置生態保育區保育天敵，則在水稻生育中、後期，少有可能期望天敵能有效地抑制害蟲之危害。保育天敵的設施，增殖天敵對各種害蟲都可產生抑制作用，較之其他防治方法之效益為大，是為邁向水稻害蟲綜合管理或水稻有機栽培不可或缺的一環。

(4-2) 栽植抗蟲性品種

栽植抗蟲性水稻品種，若對主要害蟲具抵抗性，則在水稻生育期間至少可以減少一半以上的施藥次數，隨水稻的抗蟲程度及害蟲發生種類與危害程度而定。栽植對害蟲具抗性品種，在實施害蟲綜合管理或水稻有機栽培時，是為降低害蟲危害風險的重要基石 (請參第陸章第二節第二項第一款，水稻品種)。

(4-3) 灌排水及肥培管理

絕大部分的重要水稻害蟲都屬於半水生昆蟲，喜歡潮濕

環境。水稻移植後田間經常保持灌水將增高稻株間的濕度，引誘較多的害蟲入侵，而使水稻在生育中後期遭受較嚴重的危害。試驗證明間歇性交替淺灌水約 1 公分，然後讓其自然乾枯與曬田至土表微龜裂再行灌水，或經常保持土壤於濕潤狀態，水稻遭受主要害蟲褐飛蝨的危害明顯的較經常保持灌溉水者為輕，此種措施在插秧後至水稻分蘗後期實行，效果最佳，而且並不影響稻穀產量 (請參閱圖三十二與圖三十三)。

(4-4) 害蟲族群監視

害蟲族群發展，每塊稻田因位置、水稻品種及管理情況不同而有很大差異，因此除各區農業改良場之監測警報外，農友必須留意自己稻田的害蟲發生情況，尤其在水稻分蘗中後期 (遷入後飛蝨及葉蟬類第一世代若蟲發生盛期)、孕穗中後期 (第二世代若蟲發生盛期) 及抽穗後至乳熟期 (第三世代若蟲發生盛期) 的族群密度。取樣調查時，可將稻田區分為 4 小塊，每塊隨機取樣 20~30 叢稻株 (陳 1978)，若其密度每叢稻平均已達經濟危害基準左右 (請參閱表一)，就需準備施藥處理。

(4-5) 適時藥劑處理

在害蟲綜合管理體系中，藥劑處理是在使用各種生態因子的方法還是無法將害蟲族群抑制於經濟危害基準之下時，為避免作物遭受經濟損失才使用的最後一道防線。按臺灣目前以稻飛蝨與葉蟬類為主要害蟲的情況下，稉稻田適當的施藥時期建議在水稻孕穗中後期，撒佈粒狀殺蟲劑 1 次，或噴佈藥劑 1~2 次；粒狀殺蟲劑藥效較長，除可毒殺成、若蟲外，其殘毒尚可毒殺剛由卵孵化的新若蟲；而噴佈殺蟲劑之藥效較短，雖可毒殺成、若蟲，但絕大部分的藥劑並無殺卵效果，且其殘效一般較短，少有能毒殺新孵化之若蟲，故在第一次噴藥後 7~10 天再噴一次藥劑，藉以達到徹底抑制效果，如此在其後至收穫時，就無須再煩惱遭受蟲害的風險；但在秈稻田有時在水稻分蘗期間，白背飛蝨的族群密度就可達到經濟危害基準，需要留意是否需要藥劑處理。

由於稻飛蝨與葉蟬類害蟲大多產卵及活動於稻莖中下部，噴藥時務必噴及稻株中下部位，才有毒殺效果，若只在葉部上面灑佈，藥劑無法接觸到稻莖中下部棲息之害蟲，反而將活動於稻葉間之寄生蜂及捕食性之盲蝽與蜘蛛類等天敵毒殺，而導致害蟲再猖獗的現象發生，造成更嚴重的危害，不可不慎。

在日本絕大部分農民於插秧前於育苗箱撒佈藥劑，謂之育苗箱藥劑處理，於插秧後可以防治遷入之害蟲及其所媒介之病毒病害，由於是大面積共同實施，少有害蟲由無處理之稻田再轉遷入的問題。除非臺灣能似日本大面積從事育苗箱藥劑處理作業，則害蟲由臨近稻田轉遷移進入的現象是無可避免，因此於孕穗期勢必同樣需要再實施藥劑處理。

(4-6) 防治效果評估

無論使用抵抗性水稻品種、藥劑、天敵或其他任何農耕操作，對任何一種害蟲族群密度的防治效果，都應隨時加以評估，作為日後改進之依據；其中以抗性抵抗性品種與藥劑防治，因有害性生物小種或抗藥性小種的產生，對害蟲防治效果的變異較大。對遷移性害蟲如稻飛蝨類，若在國外已發現對含有某種抗蟲基因之水稻，或對某種藥劑已產生抗性，則在選擇稻種或藥劑時，務必非常小心，避免產生無謂損失的風險。

(4-7) 害蟲發生預測

害蟲發生預測是蟲害管理非常重要的一環，尤其對遷移性害蟲的早期預測更受重視。政府防疫單位、農藥資材廠商

以及農友等得藉以準備不同等級的防疫措施，以免臨時無以為對。預測模式一般是藉由各農業試驗改良場所，長年累積各種主要害蟲之發生資料，分析害蟲在各世代成蟲發生情況與氣象資料，從事長、中、短期之發生預測，提早發出警報。但有如天氣預測與害蟲發生預測亦受多種不確定因素之影響，而常有變異，如地區之天候、水稻品種的抗性、插秧時期及肥水管理等都會影響預測的準確程度。因此害蟲發生預測只能提供發生趨勢的參考，農友還是需要隨時監測自己稻田的病、害蟲發生實況較為重要。

(5) 慣行栽培與有機栽培水稻的病蟲害管理

「慣行水稻栽培」是指一般偏重使用化學肥料與化學農藥的耕作方式，以追求作物的極大產量為目的。但大量的施用化學肥料作為作物的營養物質，忽略有機物質的添加，導致土壤酸化與物理性劣化，以及土壤與地下水的遭受汙染。而施用重氮肥容易導致水稻倒伏，影響產量及米質，而且也使作物容易遭受病、蟲危害。過量的使用化學農藥，非但容易引起病原菌或害蟲產生抗藥性或再猖獗，增加病、害蟲之防治的困難、藥劑對環境的污染、毒殺非標的生物、以及殘留於作物的餘毒對消費者（含人及家畜等）構成生命的威

脅，更遭受社會大眾指責。為導正慣行栽培的缺失，宜以降低化學肥料及農藥的使用量，增加施用有機資材改善土壤性狀，以及更重視以生態為基礎的病、蟲綜合管理措施，才能導正以往慣行農法之缺失。部分農友則以更嚴厲的標準，倡導以有機農法栽植水稻為目標。

「有機水稻栽培」強調在水稻生長過程中，不允許施用合成化學肥料與施用合成化學農藥等資材，改以天然的有機物質與各種礦石粉末為作物養分。有機物質包括作物殘體、綠肥、堆肥、家畜糞便、羽毛、豆粕及草木腐質物等；這些物質，一般而言氮/碳比偏低，難以滿足水稻各生長期所需之營養份；當水稻遭受病蟲危害時，雖然可以使用非合成化學藥劑方法防治，並包括藉調整栽培期以避開病蟲危害，實施寬行栽植與調降氮肥施用，以利陽光之透入與通風，藉以降低濕度，使之不利於病、害蟲之發生；適量地施用矽肥增強莖葉硬度，栽植抗病、蟲品種，及加強生物防治，無論是圈養稻間鴨、利用捕食性生物或寄生性昆蟲、噴佈微生物製劑及性費洛蒙誘殺等，以預防式的方法，降低病、害蟲的危害(何等 2011)，但若遭遇遷入的蟲數量大或因環境因素引起病、害蟲嚴重發生時，無法應用「預防」方式與非合成化學農藥的防治方法抑制時，就得冒很大的損失風險。

在臺灣之第一期稻，以遭受稻熱病的風險為最大；第二期稻則以遷移性害蟲最值得擔心，尤以臺灣西部地區為甚。欲實施有機栽培，必須有病、害蟲抵抗性品種為基礎，方可避免不可預期的風險。

比較慣行栽培與有機栽培的水稻病蟲害管理內涵，除有機栽培不允許使用化學肥料與農藥外，事實上其他防治技術在兩種栽培稻之間並無太大的不同。當「預防」措施無法將害蟲壓抑到所訂定的經濟危害容許範圍時，在兩種栽培稻都需要噴佈藥劑降低害蟲的族群密度，只是有機栽培只能使用有機資材，不允許施用任何化學農藥。化學農藥的防治效果一般較使用有機資材農藥防治快速且確實，而且並不一定所有的合成化學藥劑都對環境及家畜與人體有害；相反地，使用有機資材農藥非但價格高，防除病蟲害之效果相對地遠較化學藥劑為差，而且有機資材也並不一定都對環境友善，如推薦於防治福壽螺的苦茶粕或早期使用之植物殺蟲劑如魚藤精或菸砂等，對水生生物就具有很強的毒性，在水中生存的微小生物、中性生物及若干害蟲的捕食性生物，皆可能同時被毒殺。微小生物在生態系位於食物鏈的底層，被毒殺後，則位於食物鏈的下、中層賴以維生之捕食性生物，如蛙類、蜻蜓及水蠕類等將從田間消失；而初侵入稻田之捕食性

天敵，如蜘蛛類、瓢蟲及隱翅蟲等將因替代食物，如搖蚊等之消失而遷移他處覓食，勢必影響水稻在發育中、後期天敵對害蟲之抑制效果。

此外，一般推薦於有機田防治害蟲之有機資材，害蟲也不一定不會產生抵抗性，如用於防治鱗翅目害蟲之蘇力菌也可能引起害蟲對菌毒產生抗性，而失去防治效果。Devriendt & Martouret (1976) 首先於法國發現有小菜蛾 (*Plutella xylostella*) 對蘇力菌產生抗性之報告，其後在中國、日本及泰國亦有類似報告出現 (杜 1997；Tabashnik et al. 1990)。事實上，在一個族群中小菜蛾個體間對蘇力菌毒性之感受性的基因就有很大的變異 (Conjalez-Cobrera et al. 2001)，經過大面積連續使用的選汰，就可能產生抗藥性蟲群 (colony)，而使藥劑失去防治作用。另外，歐洲玉米螟 (*Ostrinia nabilatis*)、擬尺蠖 (*Trichoplusia ni*)、玉米穗蟲 (*Helicoverpa armigera*)、棉紅鈴蟲 (*Pectinophora gossypiella*)、菸芽夜蛾 (*Heliothis virescens*)、及玉米夜蛾 (*Heliothis zea*) 等也皆有抗蘇力菌結晶蛋白之報導 (Gould et al. 1995; Huang et al. 1999; Tabashnik et al. 2002)。似此種現象，誰也無法保證在大面積水稻連續使用微生物製劑或其他生物資材後，害蟲會不會產生抵抗性，以及對非標地生物或消費者絕對無不良的副作

用，深值吾人留意。

迄至現今，臺灣有機栽培水稻面積只有一千餘公頃，防治病蟲害資材的研究與慣行栽培比較相對稀少。但事實上，慣行農法栽培水稻的防蟲措施，除應更慎用化學肥料與化學農藥外，其他各種措施，在原則上皆可由生態面上尋求不利於害蟲繁衍的方法，這些方法亦皆適用於有機栽培法。

從害蟲發生種類與時期方面考慮，在臺灣無論是第一期稻或第二期稻，三種稻飛蝨、黑尾葉蟬及電光葉蟬 (*Recilia dorsalis*)，以及瘤野螟或二化螟 (*Chilo suppressalis*) 等，一般多在水稻抽穗後才造成無可補償的災害，因此無論是按照單一種害蟲或共食群 (feeding guild) 的害蟲之經濟危害基準考量 (黃 2003)，建議於需要時選擇適當藥劑於水稻孕穗中、後期施藥 1 至 2 次為原則；大部分藥劑對產在水稻組織內的蟲卵效果不佳，且藥效較短的藥劑又不足以毒殺由殘留卵所孵化的若蟲，因此除長效型藥劑 (殘效＞10 天) 外，使用一般藥劑施用 1 次，是不足以將害蟲的族群有效地抑制下來。在有機栽培水稻，可以用於治蟲的有機資材的有效防治期大多較短，防治時須以日曆方式 (或稱預防方式) 連續處理才可能奏效。

從害蟲在臺灣的第一及第二期稻的發生情況，及考慮有

機資材對害蟲防治效果的局限，有機栽培稻在第一期稻期中，蟲害的風險較低；但在第二期稻因由海外遷入的害蟲之遷入期、遷入量以及其性狀 (抗藥性、生物小種及可能媒介之病毒) 皆為可變數，很難於早期精準預測；在遷入時期較晚 (在 8 月中、下旬)，或遷入蟲數量較少之年度，只把如上面所述的「預防」措施做好，就可避免水稻遭受嚴重害蟲的危害，無須太在意「治蟲」的方法；但在遷入較早 (8 月上旬以前) 或遷入波次及遷入蟲數較多的年份，則除「預防」措施需做好外，並須監視害蟲族群的增長，隨時準備「治蟲」的措施，才可避免遭受危害損失。此外，白背飛蝨自 1990 年後期遷入蟲數大幅增加，除非有抗蟲品種可供應用，第二期稻最好避免種植秈稻品種，若需要種植者應特別注意於水稻分蘗期白背飛蝨的防治措施。

第柒章 結　語

昆蟲藉氣流遷移而逃離已不適於生存的棲地，是為延續生命、壯大族群的一種生存策略。本文所介紹的五種遷移性水稻害蟲，多屬於熱帶性昆蟲，具多型性、不具休眠性、不耐低溫性，幼 (若) 蟲在水稻抽穗後的植株上取食，因水稻莖葉老化變硬且營養變差，在那種環境成長的成蟲，於性生理尚未成熟前就有往外遷移的衝動，若有適當的溫度、濕度、光度及氣流之配合，即可完成其遷徙的過程。

在東北亞地區，夏季的西南季風，被認為是轉運該等害蟲北遷的主要氣象條件，而秋季的東北季風，則被認為可導引該等害蟲由北向南遷徙的動力 (江等 1981, 1982；程等 2003)。一般在 3 或 4 月，東亞地區因尚處於東北季風與西南季風交替期，西南氣流較弱，且害蟲遷出地 (北越或華南) 的水稻尚未屆成熟期，有能力遷出之長翅型成蟲數量相當有限；進入 5 至 7 月，適逢越南紅河三角洲與華南水稻陸續成熟，有大量長翅型成蟲遷出，並藉著梅雨鋒之強盛西南氣流逐次往華南與華中、華北、韓國及日本等地區遷移擴散；至 9 月中下旬開始，由於東北季風的氣流逐漸增強，又可將北方的褐飛蝨等遷移性害蟲導引往南回遷，週而復始，形成東

亞地區遷移性水稻害蟲南北遷移的一種特色 (李等 1996；程等 2003；Kisimoto & Sogawa 1995; Sogawa 1997; Zhang 1991)。

蟲源、寄主植物及環境因素 (含生物及物理環境)，一直被認為是影響作物病、害蟲發生程度的重要因素，其中任何一項因素有重大改變，勢必引起一個地區作物病、害蟲發生程度的變化。就上述五種遷移性水稻害蟲而言，在 1960 年代以前一直是臺灣與東亞各國水稻之偶發性害蟲，直到 1960 年代中期，國際稻米研究所倡導所謂之「綠色革命」，在東南亞地區大面積推廣栽植半矮性且耐肥而豐產的秈稻品種，及大量使用肥料與廣效性殺蟲劑後，始爆發成為亞太各地的重要害蟲 (Dhaliwal et al. 1979; Dyck & Thomas 1979; Heinrichs & Mochida 1984; Wada & Kobayashi 1991; Zhang 1991)。然而在 1968 年褐飛蝨與白背飛蝨被證實具長距離遷移之特性以前，為何只呈現間歇性的大發生？研究人員大多於該等害蟲大發生後，依據當年的氣象與環境特性加以分析及推論。

從臺灣往昔文獻，就可發現有如下之論述：「凡在 7 至 9 月間降雨量極少，於 9 月水稻孕穗前就有可能遭受稻飛蝨的嚴重危害」(楚南 1929)；「與平年比較，高溫少雨之年可能誘

導褐飛蝨之大發生」(福田 1934)；「8 至 9 月高溫少雨，或年總降雨量少於平年，則有利於褐飛蝨之發生蔓延」(陶 1966)；「凡 12 至 3 月越冬期間累積平均溫度高，則該年褐飛蝨發生必然嚴重，......」(何與劉 1969) 以及「凡一期作秧田播種過早可能引誘越冬成蟲飛來產卵，且越冬期間溫度在 20 ℃以上，必構成一期稻後期之猖獗；又一期作與二期作種植距離愈近，適逢第五代成蟲出現，得以相繼繁衍；又雨季提早於 6 至 7 月來臨，而 8 至 10 月降雨少，必構成二期稻作後期嚴重災害」(邱 1970)。上述推論都具有部分的道理，但都未涉及水稻種植品種，害蟲來源以及闡明水稻被害程度與遷入田間世代成蟲密度的關係，因此也就無法說明該種害蟲何以從偶發性害蟲變成連年嚴重發生的真正原因。

在過去四十餘來，經由日本與中國大陸多年深入的偵察與研究，已發現褐飛蝨等害蟲具長距離遷移特性，且了解該等害蟲之最初遷出地及其第一階段遷入地之華南地區，無論是水稻栽培品種及其病、蟲管理方式的演變，都有可能影響該地區害蟲的發生程度；對遷移性害蟲而言，更可藉西南季風之轉運而波及其他東北亞水稻栽培地區。此可由 1960 年代至 1980 年代，因東南亞水稻區逐漸推廣半矮性、豐產的水稻品種及增加肥料與農藥施用量後，導致東亞水稻區褐飛

蝨的嚴重發生；在 1990 年代後因越南紅河三角洲大面積改植中國雜交稻與改進防蟲策略後 (Thanh 2007)，褐飛蝨在越南與東北亞各地之發生程度漸趨下降的同時，各地區之白背飛蝨與瘤野螟的發生程度卻逐漸趨重，就可獲得到佐證。

按以往研究報告指出，褐飛蝨等遷移性害蟲由越南紅河三角洲遷出後，主要隨西南氣流遷入華南之廣西、廣東、湖南、江西、福建與浙江一帶，隨氣流強度與流向而定 (程等 1979；Otuka et al. 2007, 2008)。臺灣因位於中國大陸之東南隅，並非在該等害蟲北遷的主要路徑上，但若西南氣流有偏西分向氣流，或鋒面系統與颱風的環流，亦可導引該等遷移性害蟲，由越南北部地區或華南稻作區遷入臺灣；另一方面，從高空氣流的流軌線模擬，亦可發現呂宋島的稻飛蝨也可隨副高壓環流或由颱風北上所導引之西南氣流遷入臺灣 (鄭與盧 1990；Huang et al. 2010; Otuka et al. 2007; Rosenberg & Magor 1986; Zhu et al. 2000)。由不同地區遷入的遷移性害蟲，其抗藥性或生物小種可能有異，而影響防治策略的釐定。

從過去累積資料分析顯示，臺灣中部地區第二期稻的褐飛蝨、白背飛蝨、斑飛蝨及瘤野螟等四種害蟲的危害程度，均與 7 月下旬至 8 月底誘蟲燈的捕獲蟲數具密切的相關 (鄭 1990；鄭與吳 1999；鄭與黃 2004)。然而因臺灣的地理位置

畢竟與日本及大陸不同，影響其遷入的氣象條件與害蟲遷出地亦不盡相同，研究人員除必須不斷地搜集該等遷入害蟲之生理變化 (如生物小種、抗藥性及帶毒情況等) 與遷出地的發生情報外，並深切地期盼氣象人員的參與，才能更精確地預測及掌握該等遷移性害蟲遷入臺灣的氣象條件，及每遷入波之可能的遷出地，如此或許有可能建立更精確的預測模式與掌握遷入蟲源之性狀，以便於制定更完整的因應對策。

另外，從岸本 (1975) 在東海偵測船上誘蟲燈誘捕之昆蟲種類，除上面介紹之五種遷移性害蟲外，尚包含多種飛蝨、葉蟬、蚜蟲類、蠅類及盲蝽象等。此外至 20 世紀末，在北美洲、歐洲、非洲、亞洲及澳洲等地區，亦有許多有關遷移性害蟲的文獻可查，其中以鱗翅目夜蛾科、直翅目之蝗蟲科及同翅目之蚜蟲、飛蝨及葉蟬科之昆蟲最多 (Gohnson 1995; Gregg et al. 1995; Kisimoto & Sogawa 1995; McDonold 1995; Pedgley et al. 1995; Walden 1995)。在上述害蟲中，除本文記述之五種害蟲外，尚有許多遷移性害蟲亦為發生於臺灣之重要害蟲 (參閱第貳章)，這些遷移性害蟲是否也有可能由其他地區遷入臺灣，有待進一步探究。尤其是可媒介植物或動物病毒病害之昆蟲，在國外已有許多文獻顯示，亦可藉媒介昆蟲之遷移而擴散進入遷入地 (劉等 2004；Lee et al. 2012;

Otuka et al. 2010; Pedgley et al. 1995)，更值得深入探究。

從事植物保護工作需考慮的面向經緯萬端，首先需了解保護對象作物的生物學、栽培狀況，以及影響產值的重點時期；其次是依據害蟲的生物學、發生生態釐定防治策略，至少需包含害蟲族群在田間的分布狀況、取樣及監測技術，以及經濟危害基準之設定；防治技術包含耕作、生物、物理及化學防治法等，以安全、經濟、方便及有效為原則，綜合靈活運用，前三項方法偏向病、害蟲發生之預防，而化學防治則偏向於治療，預防措施作得好，就可減少甚或免除治療作業。臺灣以往一直注重治療研究，較少由害蟲的生態面去策劃防蟲研究，致使問題一直在原地打轉。

對水稻害蟲而言，防治遷移性害蟲必須與本地區域性害蟲，如螟蟲類、葉蟬類及其他地區性害蟲，以及重要病害、草害整體等結合，綜合考慮各種病、害蟲的生活習性、發生生態、可能的危害潛能、主要危害時期，以及當下可資應用之防治資材等，再按各地環境、耕作制度及習慣，擬定適合於該地區應用之綜合管理策略，才易獲得農友的接受，獲得更經濟、安全且有效的防治效果。這是一種繁複而持續的藝術工作，有賴政府與民間長期的支持與合作才能臻於佳境。近年來，臺灣興起無毒農業或稱作物有機栽培，是一種好現

象，農友須更注重藉不利於病、害蟲繁衍之生態環境因子去壓制病、害蟲的發生，取代以往之端賴化學藥劑之防治。然而真正的有機栽培 (包含設施有機栽培)，若無抗病、蟲作物品種及有力的生物防治作基礎，則需要冒很大的損失風險。

328

參考文獻

三田久男。1950。ウンカによる稻の被害。植物防疫 13: 307-310。

三輪勇四郎。1939。稻五大害蟲。台灣總督府殖產局農務課。32pp。

大久保宣雄。1973。宙吊り飛翔法によるウンカ類飛しようの實驗的研究，第一報 トビイロウンカの特徵及びそれらに與える物理的環境條件の影響。日本應動昆 17: 10-18。

大久保宣雄、岸本良一。1971。トビイロウンカ第 4–5 回成蟲期の飛しよう行動の日週期性。日本應動昆 15: 8-16。

小山重郎。1975。ニカメイチュウに對する殺蟲劑散布輕減に關する研究 II. ニカメイチュウの要防除被害水準とその預測。日本應動昆 19: 63-69。

小山重郎。1976。ニカメイチュウの發生と要防除密度。今月の農業 20(9): 12-16。

小林尚。1961。ニカメィチュウ防除の殺蟲劑散佈がウンカ、ヨコバイ類の升息密度に及ばす影響に關する研究。病害虫發生予察特報告第 6 號，農林省振興局植物防疫課。

小畑登紀夫、今武祚、高行植、深海浩。1981。ウンカに對するの誘引作用。日本應動昆 25: 47-51。

小澤朗人、牧野秋雄。1989。スクミリンゴガイの生態と防除。植物防疫 43: 502-505。

山口卓宏、上和田秀美、田中章。1994。鹿児島縣における 1993 年のイネウンカ類・コブノメガの多飛來。植物防疫 48: 23-28。

上和田秀美、烏越博明。1998。水稻病蟲害防除の新戰略:西南暖地における病蟲防除戰略。植物防疫 52: 119-124。

王一雄。1985。土壤環境與農藥。pp.121-142，農藥毒性研討會論文專集 (周延鑫等編)。中央研究院動物研究所專刊。

王法明、何明。1991。水稻栽培控害技術。pp.197-207，中國水稻病蟲害綜合防制策略與技術 (杜政文編)。農業出版社。

王建強、張躍近。2006。2005 年中國水稻遷飛性害蟲發生情況及原因分析。江

蘇省昆蟲學會通訊 65: 5-7。
王俊仁、陳長福。1980。氣象學。中國書局印行。台北。
王荫長。1980。小地老虎與粘蟲發蛾期同步現象的探討。植保學報 7(4): 247
王朝輝、陳文雄。1972。稻桿蠅。pp.46-58，台灣水稻之害蟲，台灣大學農學院植物病蟲害系昆蟲研究室編。台北。
王鼎定。1947。台灣農藥概況。台灣農林月刊 1(3-4): 34-40。
王鼎定。1947。台南縣斗六區水稻粟夜盜蟲防治情形。台灣農業推廣通訊 1(3): 53-59。
王鼎定。1948。糧食作物病蟲害防治。台灣農林月刊 2(9): 19-20。
王鼎定。1949。台灣之蝗蟲。臺灣農林月刊 3(1): 87-92。
王鼎定。1957。光復後台灣水稻害蟲防治。植物病蟲通訊 4(3,4): 1-5。
王鼎定、范國洋。1968。稻作病蟲害共同防治五年 (1962-1967) 示範計畫實施總報告。台灣農業 4(2): 124-128。
王喻其、王智屏、吳雨昂、蔡勇勝、李宏萍、費雯綺 (編輯)。2012。農藥使用手冊。行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所編印。台中。
王鍾和、林毓雯、黃維廷、江志峰。2002。水稻合理施肥技術。pp.11-24，作物合理化施肥技術研討會專刊。中華永續農業協會、農業試驗所編印。
中國農業科學院、湖南省農業科學院。1991。中國雜交水稻的發展。農業出版社，北京。298p。
古德業、辛竹英、王順成。1976。常用藥劑對水稻褐飛蝨和黑尾葉蟬之抗藥性研究。台灣農業 12(3): 148-164。
古德業、王順成。1977。水稻褐飛蝨對常用殺蟲劑抗藥性現狀之研究。台灣農業 13(4): 9-18。
本林隆、源何正明、Phong, T. K.、渡邊裕純。2012。イミダクロプリドの製劑および施用方法の違いが水田に生息する水生昆蟲に及ぼす影響。日本應動昆 56: 169-172。
末永一。1959。ウンカ、ヨコバイ類による被害機構と減收量查定の考え方。日本應動昆學會地 3 回シンポジウン。p.12-14。

末永一。1963。セジロウンカ·トビイロウンカの異常發生機構に關する生態學的研究。九州農試場彙報 8(1): 1-152。

平井一男。1998。稻田管理の現狀と課題。植物防疫 52: 107-110。

石井象三郎。1980。行動制御物質の害蟲管理。植物防疫 34(5): 1-2。

石黒清秀。1998。北日本における病害虫防除戰略と展開方向。植物防疫 52: 115-118。

甘肅農科院植保所。1984。小地老虎發生規律的研究。農業科學情報 1984(2,3): 2。

江村董。1993。ニカメィチュウの發生につぃて。今月の農業 37: 94-100。

江村一雄、小鵬昭雄。1980。イネクビボソハムシの藥防除密度推定にする研究 III. 要防除密度と防除要否判定のための密度推定法。日本應動昆 24: 150-156。

江廣恆、淡涵秋、沈婉貞、程遐年、陳若篪。1981。褐飛虱遠距離向北遷飛的氣象條件。昆蟲學報 24: 251-261。

江廣恆、淡涵秋、沈婉貞、程遐年、陳若篪。1982。褐飛虱遠距離向南遷飛的氣象條件。昆蟲學報 25: 147-155。

朱紹先、鄔楚中、杜景佑。1984。褐飛虱及其防治。上海科學技術出版社，上海。

朱耀沂。1976。飛蝨類之長距離移動及其對本省稻作影響之探討。pp.14-25，稻作與糧食害蟲研討會專輯，台灣植物保護中心，台中。

朱耀沂、何坤耀、李玉珊。1982。瘤野螟在台灣北部田間棲群之周年調查。中華昆蟲 2: 91-98。

朱耀沂、何坤耀、李玉珊。1983。不同寄主植物對瘤野螟生長之影響。中華昆蟲 3: 75-92。

朱耀沂、楊平世、石正人。1984。冬季水稻休耕田中褐飛蝨族群密度之調查。植保會刊 27: 117-134。

朱耀沂、鄭清煥。1996。台灣光復前水稻害蟲研究之沿革。植保會刊 38: 79-98。

全國稻縱卷葉螟協作組。1981。我國稻縱卷葉螟遷飛規律研究進展。中華農業

科學 5: 1-8。
全國褐稻虱科研協作組。1981。我國褐稻虱遷飛規律研究的進展。中國農業科學 2: 52-59。
全國白背飛虱科研協作組。1981。白背飛虱遷飛規律初步研究。中國農業科學 5: 25-31。
伊藤清光。1982。ホソハリカメムシ成蟲の餌植物選好性と水田への移動。日本應動昆 26: 300-304。
巫國瑞、胡萃。1987。稻飛虱。農業出版社，北京。
杜光秀。1997。抗(Bt)性小菜蛾發生情況調查及防治研究。pp.165-176，海峽兩岸植物保護研討會專刊，中華植物保護學會出版。台中。
李仍亮。1950。談台灣水稻病蟲害防治的今昔。台灣農林 4(23): 28-29。
李光博、王恆祥、胡文琇。1964。粘蟲季節性遷飛危害假說及標記回收試驗。植保學報 3(2): 101-110。
李汝鋒、丁錦華、胡國文、蘇德明。1996。褐飛虱及其種群管理。復旦大學出版社出版，上海。331pp。.
李長沛、黃守宏、陳哲仁、曾東海、賴明信、古新梅。2011。野生稻 *Oryza officinalis* 基因導入系統褐飛蝨抗性的研究。台灣農業研究 60: 263-278。
李新傳。1980。抗螨害不稔症水稻品種田間篩選試驗。植保會刊 22: 91-100。
李國欽。1985。本省農藥之使用現況及其產生問題之研究。pp.189-204，農藥毒性研討會論文專集 (周延鑫等編)。中央研究院動物研究所專刊。台北。
何旭平、曹愛兵、孫玲玲。2011。有機稻栽培技術研究與應用。東南大學出版社出版。南京。
何火樹。1963。台中二化螟蟲之生態觀察及防治試驗。植保會刊 5: 289-294。
何火樹、陳慶忠。1968。黑尾浮塵子之生態研究 (2)。植保會刊 10: 15-36。
何火樹、劉達修。1969。台中區褐飛蝨生態觀察。植保會刊 11: 33-42。
何火樹、劉達修。1970。台中地區水稻二化螟蟲之生態研究。台灣農業季刊 6: 7-14。
邱人璋。1966。台灣由黑尾浮塵子傳播的兩種水稻毒素病。pp.279-284，台灣植

物保護工作 (昆蟲篇)，1940-1965。劉廷蔚先生六十歲紀念文集。中國農村復興聯合委員會刊印。台北。

邱明德。1970。水稻褐飛蝨之生態研究。臺灣農業 6: 143-152。

邱明德、蔡辭達。1975。水稻對二化螟蟲感受性觀察。台灣農業 11: 110-118。

邱瑞珍。1978。水稻偽黑尾葉蟬與褐飛蝨之天敵。pp.47-82，水稻病蟲害：生態與流行學 (邱人璋編)。中國農村復興聯合委員會刊印。台北。

邱瑞珍、鄭清煥。1976。防治稻蟲藥劑對稻飛蝨葉蟬類捕食天敵之毒性。植保會刊 18: 254-260。

那波邦彥。1991。近年にをけるセジロウンカの多發傾向と增殖パターン。植物防疫 45: 41-45。

汪毓才、胡國文、謝明霞。1982。我國白背飛虱和褐飛虱遷飛路線和氣流分析。植保學報 9(2): 73-82。

佐藤雄、中島隆、菅野紘男。2005。セジロウンカの加害によってイネに誘導されゐいもち病抵抗性－圃場試驗。日本應動昆 49: 105-111。

宋勳、洪梅珠。1999。稻米品質與檢驗。pp.681-698，台灣稻作發展史，台灣省農林廳發行。南投。

林木連。2000。有機肥料施用意義之定位。pp. 5-8，有機質肥料合理化施用技術(陳武雄、林俊義編)。中華永續農業協會、行政院農業委員會農業試驗所出版。台中。

林文龍、侯福分。1986。稻作栽培法之改進。pp.129-140，四十年來台灣地區稻作生產改進專輯，黃正華先生農學獎學基金會出版。台中。

林再發。1972。水稻品種對二化螟蟲及褐飛蝨抵抗性選拔。台灣農業 8: 203-212。

林金樹。1986。福壽螺之生態觀察。台中農業改良場研究彙報 13: 59-66。

林桂瑞。1958。從稻飛蝨習性及發生情形談到飛蝨之驅除。植物病蟲通訊 5: 89-91。

松村正哉、渡邊朋也。2002。長距離移動性イネウンカ類の飛來源地帶における近年の發生動向。植物防疫 56: 316-318。

松島省三。1972。稻作の理論と技術。pp.219-225。養賢堂。東京。

屈天祥。1982。水稻害蟲。pp.58-234，農業昆蟲學。浙江農業大學編著，上海科學技術出版社出版。上海。

金德銳。1984。水稻對稻縱卷葉螟危害補償作用的測定。植物保護學報 11: 1-7。

侯豐男。1991。台灣昆蟲病理學之研究與發展。pp.89-97，近年來台灣昆蟲學之研究發展研討會專刊，中華昆蟲特刊第七號。台中。

祝增榮 (主編)。2012。生態工程治理水稻有害生物。中國農業出版社出版。

胡國文、唐健、湯金儀。1992。中國におけるセジロウカの發生現狀 (寒川一成 譯)。植物防疫 46: 219-222。

胡國文、陳忠孝、劉光杰、馬巨法、潘群威。1992。雜交稻對人工剪葉的動態補償反應模型研究。pp.95-100，中國到縱卷葉螟的治理 (胡國文、郭玉杰、李紹石編)。中國農業科技出版社，北京。

胡國文、謝明霞、汪毓才。1988。對我國白背飛虱的區畫意見。昆蟲學報 31(1): 42-48。

岸本良一。1975。ウンカ海を渡る。中央公論社發行。東京。233pp。

岸本良一、平尾重太郎、平原洋司、田中章。1982。冲繩、奄美、九州およびシナ海にけるトイロウン，セジロウンカの飛來の同時性。日本應動昆 26: 112-118。

洪士程。2007。危害水稻之鳥類：麻雀。pp.203-205，植物保護圖鑑系列–水稻保護 (上冊) (鄭清煥編)。行政院農委會動植物防疫檢疫局出版。台北。

洪淑彬、朱耀沂。1992。肥料施用與作物害蟲防治之探討。pp.121-128，病蟲害非農藥防治技術研討會專刊。中華植物保護學會編印。台中。

城所隆。1992。イチモンジセセリの生活史と發生動態。植物防疫 46(10): 361-366。

宮原義雄。1981。コブノメイガの交尾特に低溫の影響。日本應動昆 25: 119-121。

徐國勇。1975。施用不同氮肥量對褐飛蝨棲群密度之影響。第 181-182 頁。台灣省政府農林廳所屬試驗研究機關技術人員 63 年度試驗研究報告摘要。台灣省農林廳編。南投。

徐保雄。2007。冬季候鳥：雁鴨類。pp.190-196，植物保護圖鑑系列–水稻保護 (上冊) (鄭清煥編)。行政院農委會動植物防疫檢疫局出版。台北。

翁愫慎。1985。農藥殘留於食用作物中之消失。pp.165-178，農藥毒性研討會論文專集 (周延鑫等編)。中央研究院動物研究所專刊。台北。

素木得一。1937。三化螟蟲 (イッテンオメイガ) (II)。農業及園藝 12: 854-860。

素木得一、稻村宗三、楚南仁博。1933。移住飛蝗の調查並に驅除顛末。臺灣總督府殖產局 635，59 pp.。

梁廣文、龐雄飛。1991。稻縱卷葉螟預測和管理模型。pp.288-302，中國水稻病蟲害綜合防治策略與技術 (杜正文編)。農業出版社，北京。

耿濟國。1982。遷飛昆蟲標記釋放方法的應用。昆蟲知識 19(4): 34-35。

唐啟義、胡國文、唐健、胡陰、程家安。1998。白背飛虱猖獗頻率增加與雜交稻面績增加的關係分析。西南農業大學學報 20(5): 456-459。

連深。1986。台灣稻作肥料管理之發展。pp.238-249，四十年來台灣地區稻作生產改進專輯。黃正華先生農學獎學金基金會出版。台中。

連深。1999。稻田肥培及土壤管理改進。pp.379-388，台灣稻作發展史 (張彩泉編)。中華農藝學會、豐年社編印。台中。

黃山內、林晉卿。2000。有機質肥料在水稻栽培上之施用技術。pp.103-117，有機質肥料合理化施用技術 (陳武雄、林俊義編)。中華永續農業協會、行政院農業委員會農業試驗所出版。台中。

黃守宏。2013。台灣水稻飛蝨類害蟲整合管理之新進徑。台灣大學生物資源暨農學院昆蟲研究所博士論文。152 pp.

黃守宏、鄭清煥、程永雄。2005。育苗箱藥劑處理對水稻害蟲之防治效果及其對捕食性天敵之影響評估。台灣農業研究 54: 1-14。

黃守宏、鄭清煥、楊繡瑛。2008。台灣中部地區蛀食水稻螟蟲類之發生趨勢調查。植保會刊 50: 37-46。

黃伯恩。2000。推動合理化施肥的重要性。pp.1-4，有機肥料合理化施用技術 (陳武雄、林俊義編)。中華永續農業協會、行政院農業委員會農業試驗所出版。台中。

黃桂蓀、範燕萍。1997。亞洲雜交水稻生產概況與發展戰略。雜交水稻 12(1): 1-3。

黃眞生。1986。稉稻品種改良之演變。pp.67-82，四十年來台灣地區稻作生產改進專輯，黃正驊先生農學獎學金基金會出版，台中。

黃眞生、卜瑞雄、陳正昌、鄭清煥。1985。水稻台農 69 號之育成。中華農業研究 34: 125-134。

黃偉次。1987。白背飛蝨。pp.101-148，稻飛蝨 (巫國瑞、胡萃編)。農業出版社出版。北京。199pp.

黃德超、曾玲、梁廣文。2005。不同耕種稻田昆蟲及天敵的種群動態。應用生態學報 16: 2122-2125。

黃德超、梁廣文、曾玲。2005。不同耕種稻田昆蟲天敵資源調查。昆蟲天敵 27: 145-152。

高穗生。1994。蘇力菌 – 一種取之不盡的自然資源。pp.17-1~17-12，生物農藥研究與發展研討會專刊，台灣省農業藥物毒物試驗所及中華農藥協會編印。台中。

陳治官。2007。作物 (水稻) 簡介。pp.2-8，植物保護圖鑑系列：水稻保護 (上冊) (鄭清煥編)。行政院農業委員會動植物防疫檢疫局出版。台北。

陳秋男。1978。水稻褐蝨 *Nilaparvata lugens* (Stål) 之生態。pp.1-22，水稻病蟲害：生態學與流行學 (邱人璋編)。中國農村復興聯合委員會出版，台北。

陳秋男、蘇文瀛。2001。害蟲管理之生態學。pp.37-104，應用昆蟲學 (王清澄、吳文哲主編)。國立臺灣大學昆蟲系出版。台北。

陳若篪、程遐年、揚聯民、殷向東。1979。褐飛虱卵巢發育及其與遷飛的關係。昆蟲學報 22(3): 280-288。

陳若篪。1983。脂類作為褐飛虱飛行能量來源的研究。昆蟲學報 26(1): 42-48。

陳若篪、丁錦華、談涵秋、胡國文。1985。遷飛昆蟲學。農業出版社出版。北京。409pp.。

陳啟吉、劉達修。1994。水稻莖桿特性與其對螟蟲之感受性關係研究。台中區農改場研究彙報 43: 1-6。

陳琦玲、張瑞明。2000。有機質肥料合理化施用與環境維護。pp.23-35，有機肥料合理化施用技術 (陳武雄、林俊義編)。中華永續農業協會、行政院農業委員會農業試驗所出版。台中。

陳健志。2014。亞洲島弧青斑蝶散佈生態學與保育。台灣昆蟲學會 2015 年會論文摘要 2A-1。

陳健忠、邱瑞珍。1983。台灣縱捲葉蟲天敵之調查。中華農業研究 32: 286-291。

陳淑珮、王清玲、陳秋男。2009。台灣作物害蟲天敵名彙。行政院農委會農試所出版。台中。465pp。

陳慶忠。1978。水稻黃萎病之流行學。pp.139-166，水稻病蟲害：生態學與流行學 (邱人璋編)。中國農村復興聯合委員會印行，台北。

陳慶忠。1984。水稻萎凋矮化病之流行學。植保會刊 26: 315-321。

陳慶忠、王玉沙。1978。台灣中部稻縱捲葉蟲生活史及水稻品種抵抗性調查。台中區農改場研究彙報 2: 59-70。

陳慶忠、柯文華、邱人璋。1979。台灣水稻新毒素病：皺縮矮化病。植保會刊 21: 447。

陳慶忠、張念台、王玉沙、柯文華。1980。水稻育苗箱新施藥技術介紹。台中區農訊 2(2): 1-2。

陳慶忠、柯文華。1989。台灣水稻縞葉枯病流行學研究。植保會刊 31: 290-303。

陳學禮、梁家榮、劉樹法、方道康、顧文賢。1992。稻縱卷葉螟危害損失率測定。 pp.45-50，中國稻縱卷葉螟的治理 (胡國文、郭玉杰、李紹石編)。稻縱卷葉螟防治指標國際學術討論會論文集，中國農業科技出版社出版。北京。

程登發、封洪強、吳孔明。2005。掃描昆蟲雷達與昆蟲遷飛監測。科學出版社。北京。215pp。

程遐年、陳若篪、習學、楊聯民、朱子龍、吳進才、錢仁貴、楊金生。1979。稻褐飛虱遷飛規律的研究。昆蟲學報 22(1): 1-21。

程遐年、吳進才、馬飛。2003。褐飛虱研究與防治。中國農業出版社出版。北京。373pp。

張孝義。1979。稻縱卷葉螟雌蛾解剖在預報上的應用。昆蟲知識 16(3): 97-99。

張孝義。1991。遷飛性害蟲：稻縱卷葉螟。pp.58-82，中國水稻病蟲害綜合防治策略與技術 (杜正文主編)。農業出版社出版。北京。

張孝義、陸自強、耿濟國。1980。稻縱卷葉螟遷飛途徑的研究。昆蟲學報 23(2): 130-139。

張孝義、耿濟國、周威君。1981。稻縱卷葉螟遷飛的生態機制研究。南京農學院學報 1981(4): 40-51。

張孝義等。1983。稻縱卷葉螟成蟲遷飛與能源物質的研究。植保學報 10(3): 153-159。

張孝義、吳進才。1988。稻縱卷葉螟地理種群的比較研究。昆蟲學報 31(3): 259-267。

張義璋。2003。台灣水稻病蟲害之綜合管理。pp.39-60，台灣作物病蟲害綜合管理研討會專刊 (程永雄、楊宏仁、倪蕙芳、黃守宏編)。行政院農委會農試所嘉義分所出版。嘉義。

張學琨。1999。台灣水稻移植栽培技術之演進。pp.265-312，台灣稻作發展史 (張彩泉編)。中華農藝學會、豐年社編印。台中。

郭美惠、宋台生。1994。生技中心生物農藥之發展現狀。pp.9-1~9-6，生物農藥研究與發展研討會專刊。台灣省農業藥物毒物試驗所、中華農藥協會編印。台中。

郭鴻裕、朱戩良、劉滄棽、江志峰、劉禎祺。2000。台灣地區土壤有機質含量與管理對策。pp.9-21，有機質肥料合理化施用技術。中華永續農業協會、行政院農業委員會農業試驗所出版。台中。

堀健、素木得一。1910。台灣の害蟲に關する調察。台灣總督府農業試驗場特別報告 1-128 頁。

深町三朗。1980。コブノメガ成蟲の生息場所と產卵。九州病害虫研究會報 26: 93- 96。

寒川一成。1991。日印交雜水稻にみられるセジロウンカに對する超感受現象につぃて。九州農業研究 53: 92。

寒川一成。1992。イネウンカの發生生態にかかわる最近の問題。植物防疫 46: 183-186。

寒川一成。1993。トビイロウンカのバイオタイプ變異とモンスーン移動個體群の移出源の推定。植物防疫 47: 256-259。

寒川一成。2001。中國ハイブリッド水稲の蟲害感受性。農業技術 56: 398-402。

寒川一成。2007。中國粳稻とセジロウンカ。國際農業研究叢書第 15 號。國際農林水產業研究センタ-。日本。186pp。

寒川一成。 2010。綠の革命を脅かしたイネウンカ。ブイツ-ソリュ-ション發行。

渡邊朋也、清野豁、北村實彬、平井剛夫。1990。高層天氣を圖利用した長距離移動性ウンカ類飛來時期予測のためのコンピュータプログラム (LLJET)。九州農試報 26: 233-260。

渡邊朋也、寒川一成。1994。長距離移動性イネウンカ類の被害解析 1.セジロウンカの加害時期および加害量が水稲の生育および收量に與える影響。日本應動昆 38: 153-160。

渡邊朋也、寒川一成。1994。長距離移動性イネウンカ類の被害解析 I.セジロウンカ幼蟲による吸汁加害の定量化。日本應動昆 38: 275-281。

湯嶋健、桐谷圭治、金沢純。1973。生態系と農藥。岩波書店，東京，日本。

費雯綺、高清文、李貽華、劉安傑、王喻其。2009。農藥使用手冊。行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所編印。台中。

蔣永正。藥害。pp.387-392，水稻保護 (下冊)。行政院農業委員會動植物防疫檢疫局出版。台北。

趙仁方。2009。談越冬斑蝶研究的志工參與。台灣昆蟲通訊 2009(3): 4-6。

朝比奈正三郎、鶴岡保明。1968。南方定點觀測船にした昆蟲 II.。昆蟲 36: 190-202。

朝比奈正三郎、鶴岡保明。1969。南方定點觀測船にした昆蟲 III.。昆蟲 37: 290-304。

廖龍盛。1984。實用農藥。得力興業股份有限公司出版，台中。

新渡戶稻雄。1912。台灣に於ける水稻の害蟲。農藝 66: 337-382。

賈佩華。1985。小地老虎遠距離遷飛標記回收結果簡報。植保學報 2: 20。

農試所。1944。農家便覽 (第六版)。台灣總督府農業試驗所編纂，台灣農友會出版，台北。

農試所 。1977。稻株根際施藥對水稻褐飛蝨之防治效果。台灣省農業試驗所，民國 66 年年報 pp.95-96。

陶家驊。1966。水稻害蟲。pp.285-302，台灣植物保護工作：昆蟲篇 (1940-1965)，劉廷蔚先生六十歲紀念文集。中國農村復興聯合委員會刊印。台北。335pp。

福田計。1934。トビイロウンカ (*Liburnia oryzae*) に關する調查研究。台灣總督府中央研究所農業部彙報 249: 793-802。

楚南仁博。1929。臺灣に於ける害蟲の發生と地裡との關係。臺博報 19: 63-74。

鈴木芳人。2002。長距離移動性イネウンカ研究と防除の歷史的展開。植物防疫 11: 34-38。

鈴木芳人、和田節。1994。ベナムにおける稻作とトビイロウンカの發生。植物防疫 48: 166-168。

趙志模、周新遠。1983。生態學引論：害蟲綜合防治的理論及應用。科學技術文獻出版社重慶分社。重慶。第 213-232 頁。

談涵秋。1984。褐飛蝨遠距離遷飛中的降落和垂直氣流、降雨的關係。南京農學院學報 2: 18-25。

翟寶平、程家安。2006。2006 年水稻兩遷害蟲研討會紀要。江蘇省昆蟲學會通訊 65: 1-4。

劉向東、翟保平、張孝羲。2004。蚜蟲遷飛的研究進展。昆蟲知識 41: 301-307。

劉光杰、寒川一成、石墩貴、陳仕高、沈君輝、謝雪梅、譙青春、蒲鄭國、劉祥貴、楊應松、王敬宇、劉春、萬蓉。2003。種植抗蟲品種和減量使用殺蟲劑的白背飛虱可持續治理技術的田間試驗。中國水稻科學 17(增刊): 108-117。

劉清和。1988。臺灣地區褐飛蝨猖獗要因之分析。中華昆蟲 8: 119-130。

劉清和、鄭清煥、陳慶忠、王雪香、朱耀沂。1989。1987 年飛蝨類由海外遷入台灣地區之概況。中華昆蟲 9: 1-12。

劉達修。2007。福壽螺。pp.184-189，植物保護圖鑑系列：水稻保護 (上) (鄭清煥編)。行政院農委會動植物防疫檢疫局出版。台北。

劉達修、張德前。1978。在水稻不同生育期防治褐飛蝨對其族群及水稻產量之影響。植保會刊 20: 313-320。

劉紹友等。1983。小地老虎卵巢發育進度及蟲源性質的分析。昆蟲知識 20(5): 212。

鄭軒、戴淑美。2006。台灣水稻蛀心蟲之分布調查及二化螟蟲抗藥性研究。台灣昆蟲 26: 449 (論文摘要)。

鄭清煥。1966。水稻品種對三化螟蟲抵抗性初步觀察。植保會刊 8(2): 154-162。

鄭清煥。1971。施用氮肥對水稻抵抗褐飛蝨之影響。農業研究 20: 21-30。

鄭清煥。1973。水稻品種對褐飛蝨之抵抗性研究。中正科學技術研究講座計畫總報告 (油印本) 91pp.。

鄭清煥。1975。褐飛蝨之新生物小種及其與抗蟲品種間之相互作用。台灣省農業試驗所研究彙報 32: 29-41。

鄭清煥。1976。新育成抵抗褐飛蝨水稻品種 (系) 室內抗蟲反應及其田間表現。中華農業研究 25: 259-267。

鄭清煥。1977。最近水稻管理之一般趨勢。pp.6-10，主要稻作與糧倉蟲害。稻作與糧倉蟲害研討會專輯，台灣植物保護中心印行。南投。

鄭清煥。1978。褐飛蝨之發生與水稻品種之關係。pp.23-46，水稻病蟲害：生態學與流行學 (邱人璋編)，中國農村復興聯合委員會刊印。台北。

鄭清煥。1978。水稻褐飛蝨之防治。pp.95-112，昆蟲生態與防治 (蘇仲卿等編)。中央研究院動物研究所研討會專刊第三號。台北。

鄭清煥。1978。水稻褐飛蝨的經濟危害水平之研究 I.在褐飛蝨各棲群密度施藥防治對稻穀收量及收益之影響。中華農業研究 27: 229-236。

鄭清煥。1979。若干殺蟲藥劑對褐飛蝨卵的毒殺效果。興大昆蟲學報 14: 17-21。

鄭清煥。1979。水稻褐飛蝨的經濟危害水平之研究 II. 褐飛蝨棲群密度與水稻

產量損失之關係。科學發展月刊 7: 1103-1114。
鄭清煥。1979。台灣一、二期作稻害蟲發生情形及其對產量之影響。pp.191-205，台灣二期作到低產原因及其解決方法研討會專輯 (謝順景、劉大江編)。行政院國家科學委員會發行。台北。
鄭清煥。1980。第一期稻黑尾葉蟬棲群成長模式及其直接危害經濟防治適期之研究。興大昆蟲學報 15: 133-144。
鄭清煥。1985。「田間抗蟲型」稻種對褐飛蝨抵抗性檢定方法之研究。中華昆蟲 5: 11-18。
鄭清煥。1986。斑飛蝨之生態觀察。p.113，臺灣省農業試驗所民國 74 年年報，台中。
鄭清煥。1987。水稻對斑飛蝨抵抗性檢定。pp.9-14，台灣省農林廳所屬各試驗場所民國 76 年度試驗工作報告摘要。台灣省農林廳刊印。南投。
鄭清煥。1987。瘤野螟處女蛾誘蟲器誘捕雄蟲試驗。植保會刊 29: 371-384。
鄭清煥。1987。嘉南地區瘤野螟之生態觀察。植保會刊 29: 135-146。
鄭清煥。1990。嘉南地區褐飛蝨族群動態及發生預測之研究。中華昆蟲 10: 1-26。
鄭清煥。1991。台灣作物抗蟲育種之研究與發展。pp.99-126，近年來台灣昆蟲學之研究發展研討會專刊。中華昆蟲學會出版。台北。
鄭清煥。1995。水稻害蟲之綜合防治。pp.166-178，永續農業研究及推廣研討會專輯 (林俊義、洪梅珠編)。中華永續農業協會及台中區農業改良場編印。彰化。
鄭清煥。2000。應用性費洛蒙於水稻二化螟蛾族群之發生偵測與預測。植保會刊 42: 201-212。
鄭清煥。2001。害蟲管理之經濟學。pp.105-129，應用昆蟲學 (王清澄、吳文哲編)。國立台灣大學昆蟲系出版。台北。
鄭清煥。2001。一期稻二化螟之危害及其與性費洛蒙之誘蛾數的相關研究。植保會刊 43: 17-28。
鄭清煥。2002。偽黑尾葉蟬。pp.94-100，水稻保護 (上冊)。行政院農業委員會動植物防疫檢疫局出版。台北。

鄭清煥。2003a。水稻斑飛蝨之族群動態及發生預測。植保會刊 45: 17-23。

鄭清煥。2003b。台灣水稻害蟲綜合管理研究之回顧與展望。pp.11-38，台灣作物病蟲害綜合管理研討會專刊 (程永雄、楊宏仁、倪蕙芳、黃守宏編)。行政院農委會農試所嘉義分所出版。嘉義。

鄭清煥、劉達修。1978。防治水稻褐飛蝨藥劑田間比較試驗。中華農業研究 17: 1-11。

鄭清煥、盧瑞良。1990。褐飛蝨及白背飛蝨由海外遷入嘉南地區之偵測及其氣象條件。中華昆蟲 10: 301-324。

鄭清煥、吳昇晉。1999。水稻瘤野螟族群動態與預測。植保會刊 45: 199-213。

鄭清煥、朱耀沂。1999。台灣光復後水稻害蟲之發生演變及防治研究之回顧。植保會刊 41: 9-34。

鄭清煥、黃守宏。2004。水稻白背飛蝨之族群變動及發生預測。植保會刊 46: 315-332。

鄧旺喜。1980。飛機網捕褐飛虱及白背飛蝨的研究初報。昆蟲知識 17: 97-101。

鄧旺喜。1981。褐飛虱及白背飛虱空中遷飛規律的研究。植保學報 8(2): 73-76。

鍾平生、梁廣文、曾玲。2005。有機肥對稻飛虱種群及其天敵的影響。華東昆蟲學報 14: 136-140。

顏福成。1981。水稻縱捲葉蟲之發生及防治適期研究。台南區農改場研究彙報 15: 81-93。

顏福成。1994。台灣雜糧作物害蟲變遷及防制技術改進。pp.1-53，雜糧作物保護研討會專刊。行政院農業委員會、台南區農業改良場發行。台南。

簡道南、簡滄明。1994。蘇力菌(Bt$_k$)商業化製程之開發研究。pp. 1-1~1-9，生物農藥研究與發展研討會專刊。台灣省農業藥物毒物試驗所、中華農藥協會編印。台中。

蕭榮福、范國洋、陳漢洋、謝忠能、李麗娟。1985。台灣省水稻病蟲害發生預測。台灣省政府農林廳編印。南投。

藤崎憲治。1994。害蟲の生態:(7)移動と分散。pp.63-67，植物防疫講座 (第 3 版)，害蟲、有害動物篇。日本植物防疫協會出版。東京。

譚增偉。2005。水稻施肥。pp.16-20，作物施肥手冊 (羅秋雄主編)。中華肥料協會編印。台中。

Adachi, T. 1993. Control of diamondback moth (*Plutella xylosiella* L.) on cabbage with Bt formulation and fluctuation in resistance to Bt. pp.286-301. In Proc. Int. Symp. on the use of biological control agents under integrated pest management. Food and Fertil. Tech. Cent. for the Asian and Pacific Reg. Taipei, Taiwan.

Akoijam, R., Singh. B. 2014. Metabolic degradation of imidacloprid in paddy soil. Environ. Monit. and Asses.. 186: 5977-5984.

Alam, S. N., Cohen, M. B. 1998. Durability of brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, resistance in rice variety IR64 in greenhouse selection studies. Entomol. Exp. Appl. 89: 71-78.

Alice, J., Sujeetha, R. P., Vanugopal, M. S. 2003. Effect of organic farming on management of rice planthopper. Int. Rice Res. Note 28(2): 36-37.

Andow, D. A., Kiritani, K. 1983. The economic injury level and control threshold. Jpn. Pesti. Inform. 43: 3-9.

ASPAC. 1977. The rice brown planthopper. Food and Fertil. Tech. Cent. for the Asian and Pacific Reg., Taipei.

Athwal, D. S., Pathak, M. D., Bacabanco, E. H., Pura, C. D. 1971. Genetics of resistance to brown planthopper and green leafhopper in *Oryza satival*. Crop Sci. 11: 747-750.

Bacey, J. 2016. Environmental fate of imidacloprid. www.cdpr.ca.gpv/docs/emon/pubs/fate memo/imid.pdf.

Bailey, E. 1975. Biochemistry of insect flight. Part 2. Fuel supply. pp.89-176. In Insect biochemistry and function (Candy, D. J., Kilby, B. A. eds.). Halsted Press, New York.

Baker, R. R. 1978. The evolutionary ecology of animal migration. Holmes and Meier, New York.

Baqui, M. A., Kershaw, W. J. S. 1993. Effect of plant water stress on honeydew production, weigh gain and oviposition of brown planthopper, *Nilapavata lugens* on rice cultivars. Entomol. Exp. Appl. 67: 25-30.

Bautista, R. C., Heinrichs, E. A., Rejesus, S. 1984. Economic injury levels for the rice leaffolder, *Cnaphalocrocis mediralis* (Lepidoptera: Pyralidae): Insect infestation and artificial leaf removal. Environ. Entomol. 13: 439-443.

Beck, S. D. 1965. Resistance of plants to insects. Annu. Rev. Entomol. 10: 207-232.

Beevor, P. S., Hall, D. R., Neshbitt, B. F. 1983. Pheromones and other recent developments in biochemical pest management. pp.163-171. In Chemistry and world food supplies: The frontiers, chemrawn II (Shemilt, L. W. ed.). Pergamon Press, Oxford, N. Y.

Bertlett, B. R. 1956. Natural predators can selective insecticides help to presence biotic control? Agri. Chem. 11: 42-44.

Bobe, A., Cooper, J., Coste, C. M., Maric-Anne, M.1998. Bahavior of Fipronil in soil under Sahekian plain field conditions. Pestic. Sci. 52: 275-281.

Bobe, A., Coste, C. M., Cooper, J. 1997. Factors influencing the adsorption of fipronil on soils. J. Agric. Food Chem. 45: 4861-4865.

Bottrel, D. G., Schoenly, K. G.. 2012. Resurrecting the ghost of green revolutions pest: the brown planthopper as a recurring threat to high-yielding rice production in tropical Asia. J. Asia-Pacific Entomol. 15: 122-140.

Brar, D. S ., Virk, P. S., Jena, K. K., Khush, G. S. 2009. Breeding for resistance to planthoppers in rice. pp.401-427. In Planthoppers: New threat to the sustainability of intensive rice production systems in Asia. (Heong, K. L., Hardy, S. eds.). Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Breevor, P. S., Hall, D. R., Nesbitt, B. F. 1983. Pheromones and other recent developments in biochemical pest management. pp.163-171. In Chemistry and world food supplies: The frontiers, chemrawn II. (Shemilt, L. W. ed.). Pergamon Press, Oxford, N. Y.

Briggs, J. B. 1965. The distribution, abundance, and genetic relationship of four strains of the rubus aphid (*Amphorophora rubi* (Kalt.)) in relation to raspberry breeding. J. Hortic. Sci. 40: 107-117.

Brower, L. P. 1977. Monarch migration. Nat. Hist. 86: 40-53.

Brower, L. P. 1985. New perspective on the migration biology of the monarch butterfly, *Danaus plexippus* L. pp.749-785. In Migration: mechanisms and adaptive significance (Rankin, M. A. ed.). Contributions in Marine Science. Suppl. 27. Texas Univ.

Brown, J. J., Chippendale, G. M. 1974. Migration of the monarch butterfly, *Danaus plexippus*: energy sources. J. Insect Physio. 20: 1117-1130.

Cabauatan, P. Q., Cabunagan, R. C., Choi, I. R. 2009. Rice viruses transmitted by the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). pp.357-368. In Planthoppers: New threat to the sustainability of intensive rice production systems in Asia. (Heong, K. L., Hardy, S. eds.). Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Caldwell, R. L., Rankin, M. A. 1974. Separation of migratory from feeding and reproductive behavior in *Oncopeltus fasciatus*. J. Comp. Physiol. 88: 313-324.

Candy, D. J. 1989. Utilization of fuels by the flight muscles. pp.305-319. In Insect flight (Goldsworthy G. J., Wheeler C..H. eds.). Boca Raton, Florida, CRC Press.

Carson, R. 1962. Silent spring. Houghton-Mifflin, Boston, 368pp.

Catindig, J. I. A., Arida, G. S., Baehaki, S. E., Bentur, J. S., Cuong, L. Q., Norowi, M., Ratanakarn, W., Sriratansak, W., Xia, J., Lu, Z. 2009. Situation of planthoppers in Asia. pp.191-220. In Planthoppers: New threat to the sustainability of intensive rice production systems in Asia. (Heong, K. L., Hardy, S. eds.). Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Chadwick, L. E. 1953. The motion of the wings. pp.577-614. In Insect physiology (Roeder, K. ed.). Wilry, New York.

Chang, J. 1984. The monsoon circulation in Asia. pp.3-34. In Climate and agricultural land use in monsoon Asia (Yoshino, M. ed.). Univ. Tokyo Press, Tokyo.

Chang, P. M., Ito, K., Nik. Mohd. Noor, N. S. 1991. Migration and management of the malayan black rice bug, *Scottinophora coarctata* (Fabricius) (Heteroptera: Pentatolmidae) in Kerian, Malaysia. pp.229-246. In Migration and dispersal of agricultural insects. Nat. Inst. Agro-Environ. Sci., Tsukuba, Japan.

Chang, W. L., Chen, L. C. 1971. Resistance of rice varieties to brown planthopper (*Nilaparvata lugens*). Taiwan Agri. Res. 20(3): 12-19.

Chang, T. T. 1976. The origin, evolution, cultivation, dissemination and diversification of Asia and African rice. Euphytica 25: 425-441.

Chau, L. M., Heong, K. L. 2005. Effect of organic fertilizers on insect pests and diseases of rice. Omonrice 13: 26-33.

Chelliah, S. 1979. Insecticide application and brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) resurgence in rice. Int. Rice Res. Inst., Los-Baños, Philippines.

Chelliah, S., Heinrichs, E. A. 1984. Factors contributing to brown planthopper resurgence. pp.107-115. In Judicious and efficient use of insecticides on rice. Int. Rice Res. Inst., Los-Baños, Philippines.

Chelliah, S., Fabella, L. T., Heinrichs, E. A. 1980. Effect of sub-lethal doses of three insecticides on the reproductive rate of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* on rice. Envir. Entomol. 9: 778-780.

Chelliah, S., Heinrichs, E. A. 1980. Factors affecting insecticide induced resurgence of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* on rice. Envir. Entomol. 9: 773-777.

Chen, C. N., Cheng, C. C. 1978. The population level of *Nilaparvata lugens* (Stål) in relation to the yield loss of rice. Plant Prot. Bull. 20: 179-209.

Chen, J. A., Zhu, Z. R., 2006. Analysis on the key factors causing the outbreak of brown planthopper in Yangtze area, China in 2005. Plant Prot. 32: 1-4.

Chen. L. C., Chang, W. L. 1971. Inhiritance of rice resistance to brown planthopper in variety Mudgo. Taiwn Agri. Res. 20: 57-60.

Chen, R. L., Sun, Y. J., Wang, S. Y., Zhai, B. P., Bao, X. Y. 1995. Migration of the oriental armyworm, *Mythimna separate* in East Asia in relation to weather and climate I. Northeastern China. pp.93-104. In Insect Migration: Tracking resources through space and time (Drake, V. A., Gatehouse, A. G. eds.). Cambridge Univ. Press, 478pp.

Cheng, C. H. 1981. Chemical control of the brown planthopper with special reference to its population dynamics. Chinese J. Entomol. 1: 73-107.

Cheng, C. H. 1983. Studies on the integrated control of brown planthopper, *Nilaparvata lugen* (Stål) in Taiwan. Dissertation for the Doctor of Agro-biological Science, Tokyo Univ., Tokyo.

Cheng, C. H. 1985. Interaction between biotypes of brown planthopper and rice varieties. J. Agric. Res. China 34: 299-314.

Cheng, C. H. 1997. Oversea immigration and population trend of migratory insect pests of rice in Taiwan. pp.58-87. In Proc. China-Japan Joint workshop on Migration and Management of Insect Pests of Rice in Monsoon Asia. China Nat. Rice Res. Inst., Hangzhou, China.

Cheng, C. H., Chang, W. L. 1979. Studies on varietal resistance to the brown planthopper in Taiwan. pp.251-272. In Brown planthopper: Threat to rice production in Asia. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Cheng, C. H., Pathak, M. D. 1972. Resistance to *Nephotettix virescens* in rice varieties. J. Econ. Entomol. 65: 1148-1156.

Cheng, D., Wu, K., Tian, Z. 2002. Acquisition and analysis of migration data from the digitised display of a scanning entomological radar. Computers and Electronics in Agriculture 35: 63-75.

Cheng, J. 2009. Rice planthopper problems and relevant causes in China. pp.157-177. In Planthoppers: New threat to the sustainability of intensive rice production

systems in Asia. (Heong, K. L., Hardy, S. eds.). Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Cheng, J. A., Zhu, J. R. 2006. Analysis of cause for outbreak of brown planthopper in 2005 in Yangeze Delta. Plant. Prot. 22(1): 1-4.

Chien H. V., Cuong L. Q., Thiet L. V. 2007. Community level of brown planthopper associated virus diseases management: use of synchronized cropping season and brown planthopper escape strategy. pp.10–19. In Proceedings of the International Workshop on Forcasting and Management of Rice Planthoppers in East Asia: Their Ecology and Genetics. National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, Kumamoto, Kyushu, Japan.

Chih, H. P., Cheng, C. H. 1992. Present status of rice water weevil, *Lissorhoptrus oryzaphilus* Kuschel in Taiwan. pp.6-1~6-18. In Spreads and control measure of rice water weevil and migratory rice insect pest in East Asia. Agri. Sci. Inst., Suwan, Korea.

Chiu, S. C. 1979. Biological control of the brown planthopper. pp.335-356. In Brown planthopper: Threat to rice production in Asia. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Chiu, S. F. 1984. Recent reseach findings on meliaceae and other promising botanical insecticides in China. pp.6-10. In Research Planning workshop on botanical pest control project. IRRI, Los Baños, Philippines.

Choi, S. Y. 1976. Application of insecticides in the root zone of rice plants. A paper presented at Int. Rice Res. Conf. 1976 at Int. Rice Res. Inst. Los Baños Philippines.

Choo, H. Y., Kaya, H. K. 1993. Biological control of brown planthopper by a mermithid nematode in Korea. pp.450-468. In Proc. Symp. on The use of biological control agents under integrated pest management. Food and Fert. Tech. Cent. for the Asian and Pacif. Reg., Taipei.

Chung, T. C., Sun, C. N., Hung, C. Y. 1982. Resistance of *Nilaparvata lugens* to six

insecticides in Taiwan. J. Econ. Entomol. 25: 199-202.

Claridge, M. F., den Hollander, J. 1980. The “biotypes” of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens.* Entomol. Exp. Appl. 27: 23-30.

Claridge, M. F., den Hollander, J. 1983. The biotype concept and its application to insect pests of agriculture. Crop. Prot. 2: 85-95.

Cohen, E. 2006. Pesticide-mediated homeostatic modulation in arthropods. Pesticide Biochem. Physiol. 85: 21-27.

Cohen, M. B., Alam, S. N., Medina, E. B., Bermal, C. C. 1997. Brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, resistance in rice cultivar IR64: mechanism and role in successful *N. lugens* management in Central Luzon, Philippines. Entomol. Exp. Appl. 85: 221-229.

Colvin, J. 1995. The regulation of migration in *Helicoverpa armigera.* pp.265-278. In Insect Migration: Tracking resources through space and time (Drake, V. A., Gatehouse, A. G. eds.). Cambridge Univ. Press, 478pp.

Connelly, P. 2001. Enviromental fate of fipronil. www.cdpr.ca.gov/docs/emon/pubs/ent/fate-fipronil/pdf

Cook, A. G., Perfect, T. J. 1982. Determining the wing-morph of adult *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* from morphometric measurement on the fifth instar nymphs. Ent. Exp. & Appl. 31: 159-164.

Cox, L., Koskinon, W., Celis, R., Yen, P., Hermosin, M., Cornejo, T. 1998. Sorption of imidacloprid on soid clay mineraland orgnic components. Soil Sci. Am. J. 62(4): 911-915.

Cox, L., Koskinon, W., Yen, P. 1998. Influence of soil properties on sorption-desorption of imidacloprid. J. Environ. Sci. Health. Vol. B. 33(2): 125-134.

Dale, D. 1994. Insect pest of rice plant: Their biology and ecology. pp.363-485. In Biology and management of rice insects (Heinricks E.A. ed.). Wiley Eastern Limited, New Delhi.

Danthanarayana, W. 1986. Insect flight: Dispersal and migration. pp.1-10. In Insect flight: Dispersal and migration (Danthanarayana, W. ed.). Springer-Verlag, New York.

Dawe, D., Dobermann, A., Moya, P., Abdulrachman, S., Singh, B., Lal, P., Li, S. Y., Lin, B., Panaullah, G., Sariam, O., Singh, Y., Swarup, A., Tan, P. S., Zhen, Q. X. 2000. How widespread are yield declines in long-term rice experiments in Asia? Field crops Res. 66: 175-193.

Day, R. K., Knight, J. D. 1995. Operational aspects of forecasting migrant insect pests. pp.323-334. In Insect Migration: Tracking resources through space and time (Drake, V. A., Gatehouse, A. G. eds.). Cambridge Univ. Press, 478pp.

DeBach, P. 1965. Biological control of insect pests and weeds, Chapter 15 and 16. Reinhiod Publ. Corp.

De Data, S. K. 1981. Principles and practices of rice production. John Wiley & Son. Inc., New York.

Demoute, T. P. 1989. A brief review of environmental fate and metabolism of pyrathroids. Pestic. Sci. 27(4): 375-385.

Dhaliwal, G. S., Shahi, H. N., Gill, P. S., Maskina, M. S. 1979. Field reaction of rice varieties to leaffloder at various nitrogen levels. Intl. Rice Res Newsl. 4(3): 7.

Dingle, H. 1965. The relation between age and flight activity in milkweed bug *Oncopeltus*. J. Exp. Biol. 42: 269-283.

Dingle, H. 1986. Evolution and genetics of insect migration. pp.11-26. In Insect flight: Dispersal and Migration (Danthanarayana, W. ed.). Springer-Verlag, New York.

Dixon, A. F. G., Burns, M. D., Wangboonkongs, S. 1968. Migration in aphids: response to current adversity. Nature 220: 1337-1338.

Drake, V. A., Helm, K. F., Readshaw, J. L., Reid, D. G. 1981. Insect migration across Bass Strait during spring: a radar study. Bull. Entom. Res.71: 449-466.

Drake , V. A., Farrow, R. A. 1983. The nocturnal migration of the Australian plague

locust, *Chortoicetes terminfera* (Walker) (Orthoptera: Acrididae): quantitative radar observations of a series of northward flights. Bull. Entom. Res. 73: 567-585.

Drake, V. A. 1984. The vertical distribution of macro-insects migrating in the nocturnal boundary layer: a radar study. Boundary Layer Meteorology. 28: 353-374.

Drake, V. A., Farrow, R. A. 1988. The influence of atmospheric structure and motions on insect migration. Ann. Rev. Entoml. 33: 183-210.

Drake, V. A. 1993. Insect-monitoring radar: A new source of information for migration research and operational pest monitoring. pp.452-455. In Pest control and sustainable agriculture. (Corey, S. A., Dall, D. J., Milne W. M. eds.). Melbourne: CSIRO Publications, Australia.

Dudley, R. 1995. Aerodynamics, energetics and reproductive constraints of migratory flight in insects. pp.303-320. In Insect Migration: Tracking resources through space and time. (Drake, V. A., Gatehouse, A. G. eds.). Cambridge Univ. Press, 478pp.

Dyck, V. A., Misra, B. C., Alam, S., Chen, C. N., Hsieh, C. Y., Rejesus, R. S. 1979. Ecology of brown planthopper in the tropics. pp.61-100. In Brown planthopper: Threat to rice production in Asia. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Dyck, V. A., Thomas, B. 1979. The brown planthopper problem. In Brown planthopper: Threat to rice production in Asia. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Edwards, C. A. 1974. Pesticides in soil and water. Soil Sci. Soci. of America, Madison,Wisconsin, USA.

Emura, K., Kojima, A. 1980. Threshold density of the rice leaf beetle *Oulema oryzae* Kuwayama for insecticidal control. III. Control threshold density and sampling size. Jpn. J. Appl. Ent. Zool. 24: 150-156.

Escalada, M. M., Heong, K. L., Huan, N .H., Mai, V. 1999. Communications and behavior change in the rice farmers pest management: The case of using mass media in Vietnam. J. Appl. Commun. 83: 7-26.

Fabellar, L. T., Heinrichs, A. E. 1984. Toxicity of insecticides to predators of rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphcidae). Environ. Entomol. 13: 832-837.

Farrow, R. A. 1975. The African migratory locust in its main outbreak area of the Middle Niger: Quantitative studies of solitary populations in relation to environmental factors. Locust 11: 1-198.

Farrow, R. A. 1986. Interaction between synoptic scale and boundary-layer meteorology on micro-insect migration. pp.185-195. In Insect flight: dispersal and migration (Danthanarayana, W. W. ed.). Springer-Verlag, New York.

Farrow, Ｒ. A. 1990. Flight and migration in acridoids. pp.227-314. In Biology of grasshoppers. (Chapman, R. F., Joerrn A. eds.). John Wiley & Sons, New York.

Ferino, M. P. 1968. The biology and control of the rice whorl maggot, *Hydrellia philippina* Ferino (Ephydridae, Diptera). Philipp. Agric. 52: 332-383.

Fernando, H., Senadhera, D., Elikawela, Y., de Alwis, H. M., Kurdagamage, C. 1979. Varietal resistance to the brown planthopper in Sri Lanka. pp.241-250. In Brown planthopper: Threat to rice production in Asia. Int. Rice Res. Inst., Los Baños. Philippines.

Ferre, J., Van Rie, J. 2002. Biochemistry and genetics of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. Ann. Rev. Entomol. 47: 501-533.

Feung, C. S., Yenne, S. P. 1997. Fipronil: aerobic aquatic metabolism. Rhône Poulenc Agricultural Limited Data Pakage ID No, 169043. DPR Document No.52062-180.

FFTC. 1977. Proceedings of seminar on the rice brown planthopper. Compiled by

The Food and Ferti. Tech. Cent. for the Asia and Pacific Region, Taipei, Taiwan.

Fossen, M. 2006. Environvmental fate of imidacloprid. www.cdpr.ca.gov/docs/emon/ fatenemo/imidaclopridfate2.pdf

Foster, J. E. 1977. Suppression of a field population of the hessian fly by releases of the dominant avirulent great plains biotye. J. Econ. Entomol. 70: 775-778.

Fu, Q. 2006. Rice availability for planthoppers: A key ecological factor related to outbreak of brown planthopper and white backed planthopper. p.24. In Int. workshop on Ecology and management of rice planthoppers. Hangzhou, Zhejiang, China.

Fujimoto, H., Itoh, K., Yamamoto, M., Kyazuka, J., Shimamoto, K. 1993. Insect resistant rice generated by intorduction of a modified-δ-endotoxin gene of *Bacillus thuingiensis*. Bio/Technology 11: 1151-1155.

Fujita, D., Myint, K. K. M., Matsumura, M., Yasui, H. 2009. The genetics of host-plant resistance to rice planthopper and leafhopper. pp.387-399. In Planthoppers: New threats to the sustainability of intensive rice production systems in Asia. (Heong, K. L., Hardy, S. eds.). Int. Rice Res. Inst. Los Baños, Philippines.

Fujiwara, A. 1971. Effect of spanoneon several species of insect pests. Agric. Chem. 18(4): 8-16. (in Japanese).

Fujiwara, A., Noda, A. 1968. Host plant factors influencing oviposition of the smaller brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Fallèn) with special preference and fecundity. Bull. Hiroshima Agric. Exp. Stn. 26: 91-103.

Gallagher, K. D., Kenmore, P. E., Sogawa, K. 1994. Judicial use of insecticides deter planthopper outbreaks and extend the life of resistant varieties in southeast Asian rice. pp.599-614. In Planthoppers: Their ecology and management (Perfect, T. J. ed.). Chapman & Hall, New York.

Gallagher, K. D., Ooi, P. A. C., Kenmore, P. E. 2009. Impack of IPM programs in

Asian agriculture. pp.347-358. In Integrated pest management: Innovation development process (Peshin, R., Dhawan, A. K. eds.). Sprubger, the Netherlands.

Ganasekara, A. S., Troung, T. 2007. Environment fate of fipronil. https://pdfs.Semanticscholar.org/…/ed685ce8580266f55f 728204c8e5b9.

Gullun, R. L., Hatchett, J. H. 1968. Frequency of hessian fly, *Mayetiola destructor* (Say), races in field populations. Ann. Ent. Soc. Amer. 61(6): 1446-1449.

Gao, B., Wu, L., Huang, S., Lanfang, M., Han, Z. 2008. Insecticide resistance in field population of *Laodelphax striatellus* Fallén (Homoptera: Delphacidae) in China and its possible mechanisms. J. Pest Manag. 54: 13-19.

Gatehouse, A. G. 1986. Migration in the African armyworm, *Spodoptera exempta*: Genetic determination of migratory capacity and a new synthesis. pp.128-144. In Insect Flight: Dispersal and Migration (Danthanarayana W. ed.). Springer-Verlag, Berlin.

Gatehouse, A. G., Zhang, X. X. 1995. Migratory potential in insects: variation in an uncertain environment. pp.193-242. In Insect Migration: Tracking resources through space and time (Drake, V. A., Gatehouse, A. G. eds.). Cambridge Univ. Press.

Giba, D. L. 1986. Flight strategics of migrating monarch butterflies (*Daraus plexippus* L.) in Southern Ontario. pp.172-184. In Insect flight: Dispersal and migration. (Danthanarayana, W. ed.). Springer-Verlag, New York.

Gibo, D. L., Pallet, M. J. 1979. Soaring flight of monarch butterfly *Danaus plesippus* (Lepidoptera: Danaidae) during the late summer migration in southern Ontario. Can. J. Zool. 57: 1393-1401.

Glick, P. A. 1939. The distributions of insects, spiders and mites in the air. Tech. Bull. U. S. Dept. Agr. No.673. 150pp.

Goldsworthy, J. D., Wheeler, C. H. 1986. The endocrine control of flight metabolism in locusts. pp.49-59. In Insect flight: Dispersal and migration

(Danthanarayana, W. ed.). Springer-Verlag, New York.

Gonjalez-Cabrera, J., Herrero, S., Ferre, J. 2001. Hight genetic variability for resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins in a single population of diamondback moth. Appl. Environ. Microbil. 67: 5043-5048.

Gorman K., Liu, Z., Denholm, I., Bruggen, K. U., Nauen, R. 2008. Neonicotinoid resistance in rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens.* Pesticide Manag. Sci. 64: 1122-1125.

Gould, F., Anderson, A., Reynolds, A., Bumgarner, I., Mear, W. J. 1995. Selection and genetics analysis of a *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) strain with hight levels of resistance to *Bacillus thuringiensus* toxins. J. Econ. Entomol. 88: 1545-1559.

Gregg, P. C., Fitt, G. P., Zalucki, M. P., Murray, D. A. H. 1995. Insect migration in an arid continent. II. *Helicoverpa* spp. in Eastern Australia. pp.151-172. In Insect Migration: Tracking resources through space and time (Drake, V. A., Gatehouse, A. G. eds.). Cambridge Univ. Press. 478pp.

Gallun, R. L., Hatchett, J. H. 1968. Interrelationship between reces of hessian fly, *Mayetiola destructor* (Say), and resisstance in wheat. Proc. 3rd Int. wheat genet. Symp. Acad Sci., Canberra, Aust.

Gallun, R. L., Reitz, L. P. 1971. Wheat cultivars reisitance to races of hessian fly . USDA Res. Rep. 134: 10.

Gupta, A. K., Shukla, K. K. 1986. Sources and inheritance of resistance to whitebacked planthopper *Sogatella furcifera* in rice. pp.529-539. In Rice genetics. Int. Rice Res Ins., Los Baños, Philippines.

Gurr. G. M., Wratten, S. D., Altier, M. A. 2004. Ecological engineering for pest management: Advance in habitat manipulation for arthropods. Collingwood. Csiro Publishing, Australia.

Gurr, G. M. 2009. Prospects for ecological engineering for planthoppers and other arthropod pests in rice. pp.371-388. In Planthoppers: New threats to the

sustainability of intensive rice production systems in Asia. (Heong, K. L., Hardy, S.eds.). Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Hainzl. D., Cole, L. M., Casida, J. E. 1998. Mechanism for selective toxicity of fipronil insecticide and its sulfone metabolite and desulfinyl photoproduct. Chem. Res. In Toxi. 11(12): 1529-1535.

Harcourt, D. G., Cass, L. M. 1966. Photoperiodism and fecundity in *Plutella maculipennis*. Nature 210: 217-218

Hardin, M. K., Benrey, B., Coll, M., Lamp, W. O., Rodetick, G. R., Barbosa, P. 1995. Arthropod pest resurgence: An overview of potential mechanisms. Crop Prot. 14: 3-18.

Hasegawa, J. 1975. Migration of the rice plant skipper, *Parnara guttata guttata.* Kontyu to Shizen 10(13): 17-22.

Hatchett, J. H., Gullun, R. L. 1970. Genetics of the ability of the hessian fly, *Mayetiola destructor*, to the survive on wheats having different genes for resistance. Ann. Ent. Soc. Amer. 63: 1400-1407.

Heinrichs, E. A. 1976. Root-zone application of insecticides for rice pest control. A paper presented at Int. Rice Res. Conf. 1976 at Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Heinrichs, E. A. 1994. Host plant resistance. pp.517-547. In Biology and management of rice insects (Heinrichs, E. A. ed.). Int. Rice Res. Inst., Los Bañas, Philippines.

Heinrichs, E. A., Aquino, G. B., Chelliah, S., Valencia, S., Relssig, W. H. 1982. Resurgence of *Nilaparvata lugens* (Stål) population as influenced by method and timing of insecticide applications in low land rice. Environ. Entomol. 11: 78-84.

Heinrichs, E. A., Basilio, R. P., Valencia, S. L. 1984. Buprofezin, a selective insecticide for management of rice planthopper (Homoptera: Delphacidae) and leafhopper (Homoptera: Cicadellidae). Environ. Entomol. 13: 515-521.

Heinrichs, E. A., Camanag, E., Romena A. 1985. Evaluation of rice cultivars for resistance to *Cnaphalocrosis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae). J. Econ. Entomol. 78: 274-278.

Heinrichs, E. A., Medrano, F. G., Rapusas, H. R. 1985. Genetic Evaluation for insect resistance in rice. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Heinrichs, E. A., Medrano, F. G. 1985. Influence of nitrogen fertilizer on the population development of brown planthopper. Int. Rice Res. Newsl.10(6): 20.

Heinrichs, E. A., Mochida, O. 1984. From secondary to major pest status: the case of insecticide-induced the rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens,* resurgence. Prot. Ecol. 7: 201-218.

Heinrichs, E. A., Reissig, W. H., Valencia, S. L., Chelliah, S. 1982. Rates and effect of resurgence-inducing insecticides on populations of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) and its predations. Envir. Entomol. 11: 1269-1273.

Heong, K. L. 1993. Rice leaffolders: Are they serious pests? pp.8-11. In Research on rice leaffolder management in China (Hu, K., Guo, Y., Lee, S. eds.). China Agric. Tech. Press, Beijing, China.

Heong, K. L. 1990. Feeding rate of the rice leaffolder, *Cnapholocroces medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) on different plant ages. J. Agric. Entomol. 7: 81-90.

Heong. K. L. 2006. The brown planthopper: both a resurgence and a secondary pest. pp.3-4. In. Int. workshop on Ecology and management of rice planthoppers. Hangzhou, China.

Heong, K. L. 2007. Are brown planthopper outbreaks due to deteriorated ecosystem services in rice fields? pp.97-105. Int. Workshop on Forecasting and management of rice planthoppers in East Asia: Their ecology and genetics. Nat. Agr. Res. Cent. for Kyushu Okinawa Region, Kumamoto, Kyushu, Japan.

Heong, K. L., Escarada, M. M. 1997. Pest management of rice farmers in Asia. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Heong, K. L., Hardy, B. 2009. Planthoppers: New threats to the sustainability of intensive rice production systems in Asia (Heong, K. L., Hardy, B. eds.). Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Heong, K. L., Schoenly, E. C. 1999. Impact of insecticide on herbivore natural enemy communities in tropical rice ecosystems. pp.381-403. In Ecotoxicology pesticides and beneficial organisms (Hasbell, P. T., McEwen, P. eds.). Champman & Hall, London, UK.

Heong, K. L., Wong, L., De los Reyes, J. H. 2014. Addressing planthopper threats to Asian rice farming and food security: Fixing insecticide misuse. pp.69-80. In Rice planthoppers: Ecology, Management, Socio Economics and policy (Heong, H. L., Cheng, J. Escalada, M. M. eds.). Zhejiang Univ. Press, China.

Highnam, K. C., Haskall, P. T. 1964. The endocrine system of isolated and crowded Locust and Schistocerca in relation to oöcyte growth, and the effects of flying upon maturation. J. Insect Physiol. 10: 849- 864.

Hinckley, A. D. 1963. Ecology and control of rice planthopper in Fizi. Bull. Entomol. Res. 54: 467-481.

Hirai, K. 1984. Migration of *Pseudaletia separate* Walker (Lepidoptera: Noctuidae): consideration of factors affecting time of taking-off and flight period. Appl. Ent. Zool. 19: 422-429.

Hirai, K. 1995. Migration of the oriental armyworm *Mythimna separate* in East Asia in relation to weather and climate. III. Japan. pp.117-130. In Insect migration: Tracking resources through space and time (Drake, V. A., Gatehouse, A. G. eds.). Cambridge Univ. Press, 478pp.

Hirao, J. 1984. Nursery-tray application of granular insecticide for control of early-season insect pests of rice in paddy field. J. Pesticide Sci. 44: 10-16.

Hirata, M, Sogawa, K. 1976. Antifeeding activity of chlordimeform for

plant-sucking insects. Appl. Ent. Zool. 11: 94-99.

Horgan, F. 2009. Machanisms of resistance: A major gap in understanding planthopper rice interactions. pp 281-302. In Planthoppers: New threats to the sustainability of intensive rice production systems in Asia (Heong, K. L., Hardy, B. eds.). Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Horgan, F. G., Ramal, A. F., Bentur, J. S., Kumar, R., Bhanu, K. V., Sarao, P. S., Iswanto, E. H., Chien, H. V., Phyu, M. H., Bernal, C. C., Almazan, M. L. P., Alam, M. Z., Lu, Z., Huang, S. H. 2015. Virulence of brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) populations from south and southeast Asia agaist resistant rice varieties. Crop Prot. 78: 222-231.

Horgan, F. G., Srinivasan, T. S., Bentur, J. S., Kumar, R., Bhanu, K. V., Sarao, P. S., Chien, H. V., Almazan, M. L. P., Bernal, C. C., Ramal, J. B., Ferrater, A. F., Huang, S. H. 2017. Geographic and Research Center Origins of Rice Resistance to Asian Planthoppers and Leafhoppers: Implications for Rice Breeding and Gene Deployment. Agronomy 7(4): 62. doi:10.3390/agronomy7040062.

Hu J. Z., Lu, Q. H., Yang, J. S., Yang, L. P. 1986. Effect of fertilizer and irrigation on the population of main insect pests and the yield of rice. Acta Entomol. Sin. 29: 49-54.

Huang, C. W., Feng, B. C., Wang, H. D., Yao, J., Song, I. J. 1985. Observation on characteristic ecology of white backed planthopper on hybrid rice. J. Zhejiang Agric. Sci. 4: 162-164.

Huang, F., Buschman, L. L., Higgins, R. A., McGaughey, W. H. 1999. Inheritance of resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin (Dipel. ES) in the European corn borer. Science 284: 965-967.

Huang, C. S., Buu, R. H., Cheng, C. H., Lu, C. 1982. Breeding for resistance to brown planthopper in Keng (Japonica) rice. pp. 89-97. In Plant breeding. (Hsieh, S. C., Liu, D. L. eds.). Agric. Assoc. China and Regional Soc. of

SAARAO, Taipei, R.O.C.

Huang, S. H., Cheng, C. H., Chen, C. N., Wu, W. J. 2007. The trend of occurrence and present status of brown planthopper and white-backed planthopper in Taiwan. pp.27-35. In Int. workshop on Forecasting and management of rice planthoppers in East Asia: Their ecology and genetics. Nat. Agric. Res. Cent. Kyushu - Okinawa Reg. Kumamoto, Japan.

Huang, S. H., Cheng, C. H., Chen, C. N., Wu, W. J. 2009. The migratory rice insect pests and management in Taiwan. pp.280-294. In APEC workshop on The epidemics of migratory insect pest and associated virus diseases in rice and their impact on food security in APEC member economics. Rural Develop. Adm., Suwan, Korea.

Huang, S. H., Cheng, C. H., Chen, C. N., Wu, W. J., Otuka, A. 2010. Estimating the immigration source of rice planthoppers, *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae) in Taiwan. Appl. Entomol. Zool. 45: 521-531.

Huang, S. H., Cheng, C. H., Chen, C. N., Wu, W. J. 2013. An injury equivalency system for establishing a common economic threshold for three species of rice planthoppers (Hemiptera: Delphacidae) in Taiwan. J. Econ. Entomol. 106: 837-843.

Huang, B. C., Zhang, Y., Bao, H. L., Tan, Y. J., Chen, H. Y., Chen, Z. C., Yang, L. M., Zhu, S. Z. 1997. Studies on the migratory occurrence and integrated management of brown planthopper in Guangdong of South China. pp.248-253. In Migration and management of insect pests of rice in monsoon Asia. China Nal. Rice Res. Inst., Hangzhou, China.

Huynh, N. V. 1977. New biotype of brown planthopper in Mekong Delta of Vietnam. Int. Rice Res. Newsl. 2(6): 10.

Huynh, N. V., Nhang, H. T. 1988. High virulence of new brown planthopper population in Mekong Delta,Vietnam. Int. Rice Res. Newsl. 13(5): 16.

Ich, B. V. 1991. The occurrence and migration of brown planthopper in Vietnam. pp.183-204. In Migration and dispersal of Agricultural Insects. Nat. Inst. Agro-Envir. Sci., Tsukuba, Japan.

Ikeda, R., Vaughan, D. A., Kobayashi N. 1993. Landrace and wild relative of rice as sources of useful genes. JIRCAS. Int. Symp. Series 2: 104-111.

IRRI. 1964. The Major insect pests of the rice plant. Procceding of a Symp. at The Int. Rice Res. Inst. The Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland.

IRRI. 1971~1975, 1978. International Rice Research Institute, Annual Report for 1970~1974, 1977. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

IRRI. 1978. Carbofuran metabolism. pp.208-210. Annual Report for 1977. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

IRRI. 1979. Fate of carbofuran in flooded soil and the rice plant. pp.190-192. Annual Report for 1978. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

IRRI. 1979. Levels of resistance in rice varieties to biotypes of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* in south and southeast Asia. Report of the 1979 Intl. Colla. Proj. on the brown planthopper resistance. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

IRRI. 1979. Brown Planthopper: Threat to rice production in Asia. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

IRRI. 1994. Transgenic indica rice plants containing the soybean Kunitz trypsin inhibitor gene. pp.159-160. In Program Rep. for 1994. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Isii, M., Hidaka, T. 1979. Seasonsl polymorphism of adult and its control in the rice-plant skipper, *Parnana guttata guttata* (Lipedoptera: Hespeerriidae). Appl. Ent. Zool. 14: 173-184.

Ishii, S. 1984. Future direction of research and development of chemicals for insect pest management. pp.9-18. In Proc.of the FAO/IRRI workshop on judicious and efficient use of insecticides on rice. Int. Rice Res. Inst., Los Baños,

Philippines.

Iwanaga, K., Tojo, S., Nagada, T. 1975. Immigration of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* exhabiting various responses to density in relation to wing morphism. Entomol Exp. Appl. 38: 101-108.

Iwanaga, K. Nakasuji, F., Tojo, S. 1987. Wing polymorphism in Japanese and foreign strain of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. Entomol. Exp. App. 43: 3-10.

Jackson, M. T. 1997. Conservation of rice genetic resources: The role of The International Rice Research Institute. Plant Mal. Biol. 35: 61-67.

Jairin, J., Phengrat, K. Teangdeanth, S.,Vanavichit, A., Toojinda, T. 2007. Mapping of a broad spectrum brown planthopper resistance gene *Bph3*, on rice chromosome 6. Mol. Breed. 19: 35-44.

Janmaat, A. F., Myers, J. 2003. Rapid evaluation and the cost of resistance to *Bacillus thuringiensis* in greenhouse population of cabbage loopers, *Trichophusia ni*. Proc. R. Soc. London Ser. B: Biol. Sci. 270: 2263-2270.

Janmaat, A. F., Wang, P., Kain, W., Zhan, J. Z., Myers, J. 2004. Inheritance of resistance to *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* in *Trichoplusia ni.* App. Environ. Microb. 70: 5859-5867.

Jena, K. K., Mackill, D. J. 2008. Molecular markers and their use in marker assisted selection in rice. Crop Sci. 48: 1266-1276.

Jiang, M. X., Cheng, J. A. 2004. Effect of manure use on seasonal patterns of arthropods in rice with special reference to modified biological control of whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* Horvàth (Homoptera: Delphacidae). J. Pest. Sci. 77: 185-189.

Johnson, C. G. 1960. A basis for a general system of insect migration and dispersal by flight. Nature 186: 348-350.

Johnson, C. G. 1969. Migration and dispersal of insects by flight. Methuen, London.

Johnson, K. B., Jepson, P. C., Jenkins, J. J. 2008. Enfenvalerate-induced case

abandonment in the larvae of caddisfly (*Brachycentrus americanus*). Environ. Toxicol. Chem. 27: 397-403.

Johnson, S. L. 1995. Insect migration in North America: synoptic-scale transport in highly seasonal environment. pp.31-66. In Insect Migration: Tracking resources through space and time (Drake, V. A., Gatehouse, A. G. eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Jutsum, A. R. Goldsworthy, G. L. 1976. Fuels for flight in locusta. J. insect Physio. 22: 242-249.

Kajimura, T. 1995. Effect of organic rice farming on leafhoppers and planthoppers 5. Influence of rice plant densityon the population fluctuation of planthoppers. Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 37: 1-5.

Kajimura, T., Macoka, Y., Widiarta, I. N., Sudo, T., Hidaka, K., Nakasuji, F., Nagai, K. 1993. Effect of organic farming of rice plants on population density of leafhoppers and planthoppers. 1. Population density and reproduction rate. Jpn. Appl. Entomol. Zool. 37: 137-144

Kajimura, T., Fujisaki, K., Nakasui, F. 1995a. Effect of organic farmining on leafhoppers and planthoppers. 2. Amino acid content in the rice ploem sap and survival rate of planthoppers. Appl. Entomol. Zool. 30: 17-22.

Kajimura, T., Macoka, Y., Widiarta, I. N., Sudo, T., Hidaka, K., Nakasuji, F., Nagai, K. 1994. Effect of oganic rice farming on the population density of leafhoppers and planthoppers. III. Effects of the growth pattern of rice plants on the initial invasion of planthoppers. Jpn. Appl. Entomol. Zool. 36: 5-9.

Kajimura, T., Nyoman Widiarta, I., Nagai, K., Fujisaki, K., Nakasuji, F. 1995b. Effect of organic rice farming on planthoppers. 4. Reproduction of the white backed planthopper, *Sogatella furcifera* Horvàth (Homoptera: Delphacidae). Res. Popul. Ecol. 37: 219-224.

Kalode, M. B., Crishna, T. S. 1979. Varietal resistance to browm planthopper in India. pp. 187-199. In Brown planthopper: Threat to rice production in Asia.

Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Kaneda, C. 1971. Breeding of japonica rice resistance to brown planthopper. Agric. Technol. 26(9): 421-423. (in Japanese)

Kaneda, C., Kisimoto, R. 1979. Status of varietal resistance to the brown planthopper in Japan. pp.209-218. In Brown planthopper: threat to rice production in Asia. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Kanno, H., Fujita, Y. 2003. Induced systemic resistance to rice blast fungus in rice plants infested by white backed planthopper. Entomol. Exp. Appl. 107: 155-158.

Kanno, H., Kim, M., Ishii, S. 1977. Feeding activity of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål on rice plants manured with different levels of nitrogen. Jpn. J. Entomol. Zool. 21: 110-112.

Kanno, H., Satoh, M., Kimura, T., Fujita, Y. 2005. Some aspects of induced resistance to rice blast fungus, *Magnaporthe grisea,* in rice plants infested by white backed planthopper, *Sogatella fucifera*. App. Entomol. Zool. 40: 91-97.

Katagi, T. 1991. Photodegradation of the pyrethroid insecticide esfenvalerate on soil, clay minerals, and humic acid surfaces. J. Agricul. and Food Chem. 39: 1351-1356.

Kawabe, S., Fukumorita, T., Chino, M. 1980. Collection of rice phoem sap from stylets of homopterous insects severed by YAG laser. Plant & Cell physiol. 2: 1319-1327.

Kawazu, K., Hasegawa, J., Honda, H., Isikawa, Y., Wakamura, S., Sugie, H., Kamiwada, H., Kamimuro, T., Yoshiyasu, Y., Tatsuki, S. 2000. Geographical variation in female sex pheromones of the rice leaffolder moth, *Cnaphalocrocis medinalis*: Identification of pheromone components in Japan. Entomol. Exp. Appl. 96: 103-109.

Kawazu, K., Suzuki, Y., Yoshiyasu, Y., Castillon, E. B., Ono, H., Vuong, P. T., Huang, F. K., Adati, T., Fukumoto, T., Tatsuki, S. 2005. Atraction of *Cnaphalicrocis*

medinalis (Lepiddoptera: Crambidae) males in Southeast Asia to felmale sex pheromone traps: Field tests in southernmost China, northern Vietnam and southern Philippines with three synthetic pheromone blends regarding geographic variations. Appl. Entomol. Zool. 40: 483-488.

Kenmore, P. E. 1991. How rice farmers clean up the environment, conserve biodiversity, raise more food, make higher profits: Indonesia´s IPM model for Asia. Food Agric. Org., UN Inter-country Prog. Integrated Control of Rice insect pests in South Southeast Asia. Manila, Philippines.

Kennedy, J. S. 1950. Aphis migration and spread of plant viruses. Nature 165: 1024.

Kennedy, J. S. 1961. A turning point in the study of insect migration. Nature 189: 785-791.

Kennedy, J. S. 1975. Insect dispersal. pp.103-119. In Insects Science & Society (Pimental, D. ed.). Academic Press, New York.

Kennedy, J. S., Booth, S., Kershaw, W. J. S. 1961. Host finding by aphids in the field III. Visual attraction. Ann. Appl. Bio. 49: 1-21.

Khan, Z. R., Saxena, R. C. 1985. A selected bibliography of the whitebacked planthopper *Sogatella furcifera* (Homoptera: Delphacidae). Insect Sci. App. 6: 115-134.

Khush, G. S. 1979. Genetics of and breeding for resistance to the brown planthopper. pp.321-332. In Brown planthopper: Threat to rice production in Asia. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Kidd, H., James, D. 1991. The Agrochemicals Handbook, Third edition, Royal Society of Chemistry Information Services, Combridge, UK.

Kiritani, K. 1974. Aplication of disyston into seedlings in nursery boxes for control of rice dwarf virus. Pesticides research 20(3): 18-22. (in Japanese)

Kiritani, K., Naba, K. 1994. Development and implementation of rice IPM in Japan. pp.713-731. In Biology and management of rice insects (Heinrichs E. A. ed.). Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Kisimoto, R. 1965. Studies on the polymorphism and its role playing in the population growth of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål. Bull. Shikoku Agri. Exp. Stn., Japan, 106pp.

Kisimoto, R. 1971. Long-distance migration of planthoppers, *Sogatella furcifera* and *Nilaparvata lugens*. pp.201-216. In Symp. on Rice insects. Tropical Agri. Res. Cent., MAF, Japan.

Kisimoto, R. 1976. Synoptic weather conditions inducing long distance immigration of planthoppers, *Sogatella furcifera* Horvath and *Nilaparvata lugens* Stål. Ecol. Entomol. 1: 95-109.

Kisimoto, R., Sogawa, K. 1995. Migration of brown planthopper *Nilaparvata lugens* and the white-backed planthopper *Sogatella furcifera* in East Asia: The role of weather and climate. pp.67-91. In Insect Migration: Tracking resources through space and time (Drake, V. A., Gatehouse, A. G. eds). Cambridge Univ. Press, 478pp.

Kondo, A., Tanaka, F. 1995. An estimation of the control threshold of the rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) base on the pheromone trap catches. Appl. Entomol. Zool. 32: 103-110.

Koyama, J. 1975. Studies on the diminution of insecticide application to the rice stem borer, *Chio suppressalis* Walker. II. The economic injury levels of rice stem borer and its predictive estimation. Jpn. J. Appl. Zool. 19: 63-69.

Kuno, E. 1979. Ecology of the brown planthopper in temperate regions. pp. 45-60. In Brown planthopper: Threat to rice production in Asia. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Lai, M, N., Verma, S. K., Sacham, G. C., Pathak, P. K., Nanda, J. S. 1983.Varietal resistance to whitebaked planthopper. Int. Rice Res. Newsl. 8(2): 8.

Laskowski, D. A. 2002. Physical and Chemical properties of pyrethroids. Rev. Environ. Contom. Toxicol. 174: 49-170.

Lecoq, M. 1995. Forecasting systems for migrant pests. III. Locusts and

grasshoppers in West Africa and Madagascar. pp.377-396. In. Insect migration: Tracking resources through space and time (Drake, V. A., Gatehouse, A. G. eds.). Cambridge Univ. Press.

Lee, J. H., Uhm, K. B. 1995. Migration of the oriental armyworm *Mythimna separate* in East Asia in relation to weather and climate. II. Korea. pp.105-116. In Insect migration: Tracking resources through space and time (Drake, V. A., Gatehouse, A. G. eds.). Cambridge Univ. Press.

Lee, G. S., Kim, C. S., Choi, H. S. 2012. Recent SBPH overseas migration and RSV occurrence in Korea. p.2. In Proc. NARO Int. Symp. on New insights into insecticide resistance of rice planthoppers and their associated virus diseases. Fukuoka Int. Congress Cent., Fukuoka, Japan.

Lee, P. W. 1985. Fate of fenvalerate (Pydrin insecticide) in soil enveriroment. J. Agric. and Food Chem. 33: 993-998.

Leskinen, M., Markkula, I., Koistinen, J., Pylkko, P., Ooperi, S., Siljamo, P., Raiskio, S., Tiilikkala, K. 2009. Pest insect immigration warning by an atmospheric dispersion model, weather radars and traps. J. Appl. Entomol. 135(1-2): 55-67.

Lewis, T. 1965. The effects of an artificial windbreak on the aerial distribution of flight insects. Ann. Appl. Bio. 55: 503-512.

Liang, G. M., Li, Y. P., Gou, J. Q. 2007. Recent development and management of rice planthopper and insecticide resistance in Vietnam and Thailand. China Plant Prot. 27(6): 44-46.

Liao, C. T., Shiao, S. F. 2001. *Pseudonapoyza asiatica* Spencer (Diptera: Agromyzidae), a recently resurgent pest species which damages rice in Taiwan. Plant Prot. Bull. 43: 235-242.

Lin, C. S., Sun, C. J., Chen, R. L., Chang, J. T. P. 1963. Studies on the regularity of outbreak of the oriental armyworm, *Leucania separate* Walker. I. The early spring migration of the oriental armyworm moths and its relation to winds.

Acta. Entomol. Sinica 12: 243-261.

Lin, Y. H., Sun, C. N., Feng, H. T. 1979. Resistance of *Nilaparvata lugens* to MIPC and MTMC in Taiwan. J. Econ. Entomol. 72: 901-903.

Ling, K. C. 1972. Rice virus diseases. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Litsinger, J. A. 1994. Cultural, mechanical and physical control of rice insects. pp.549-584. In Biology and management of rice insects (Henrichs, E. A. ed.). Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Liu, C. H. 1984. Study on the long-distance migration of the brown planthopper in Taiwan, Chinese J. Entomol. 4(2): 39-48.

Loxdale, H. D., Hardie, J., Halbert, S., Foottit, R., Kidd, N. A. C., Carter, C. A. 1993. The relative importance of long- and short-range movement of flight aphids. Bio. Rev. 68: 291-311.

Lu, Z. X., Heong, K. L., Yu, X. P., Hu, C. 2005. Effect of nitrogen nutrient on the behavior of feeding and oviposition of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* on IR64. Zhejiang Univ. Agri. Sci. 31: 62-70.

Lu, Z. X., Heong, K. L, Yu, X. P., Hu, C. 2005. Effect of nitrogen on the tolerance of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* to adverce environmental factors. Insect Sci. 12: 121-128.

Lu, Z. X., Yu, X. P., Heong, K. L., Hu, C. 2007. Effect of nitrogen fertilizer on herbivores and its simulation to major pests in rice. Rice Sci. 14: 56-66.

Lu, Z. X., Heong, K. L.2009. Effect of nitrogen enriched rice plants on ecological fitness of planthoppers. pp.247-256. In Planthoppers: New threats to sustainability of intensive rice production systems in Asia (Heong, K. L., Hardy, B. eds.). Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Lynn, A., Dupo, B., Barrion, A. T. 2009. Toxonomy and general biology of delphacid planthoppers in rice agroecosystems. pp.3-156. In Planthoppers: New threats to the sustainability of intensive rice production systems in Asia (Heong, K. L., Hardy B. eds.). Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Magor, J. I. 1995. Forecasting migrant insect pests. pp. 399-426. In Insect migration: Tracking resources through space and time (Drake, V. A., Gatehouse, A. G. eds.). Cambridge Univ. Press.

Mandal, K., Singh, B., Jariyal, M., Gupta, V. K. 2013. Microbial degradation of fipronil by *Bacilus thuringiensis*. Ecotoxical Environ. Saf. 93: 87-92.

Matsumura, M. 2012. Insecticide resistance status of Asian rice planthopper. pp.17-18. In Proc. NARO Int. Symp. 2012 on New insights into insecticide resistance of rice planthoppers and their associated virus diseases. NARO Kyushu Okinawa Agri. Res. Cent., Japan.

Matsumura, M., Suzuki, Y. 2003. Direct and feeding-induced interactions between two rice planthoppers, *Sogatella furcifera* and *Nilaparvata lugens*: Effects on dispersal capability and performance. Ecol. Entomol. 28: 174-182

Matsumura, M., Takeuchi, H., Satoh, M., Sanada-Morimura, S., Otuka, A., Watanabe, T., Thanh, D. V. 2008. Species specific insecticide resistance to imidacloprid and fipronil in rice planthoppers *Nilaparvata lugens* and *Sogatella fucifera* in East and South-east Asia. Pest Manag. Sci. 64: 1115-1121.

Matsumura, M., Takeuchi, H., Satoh, M., Sanada-Morimura, S., Otuka, A., Watanabe, T., Thank, D. V. 2009. Current status of insecticide resistance in rice planthoppers in Asia. pp.233-243. In Planthoppers: New threats to sustainability of intensive rice production systems in Asia (Heong, K. L., Hardy, B. eds.). Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Mattesan, P. C. 2000. Insect pest management in tropic Asian irrigated rice. Ann. Rev. Entomol. 45: 549-574.

Mayer, R. J., Candy, D. J. 1969. Control of haemolymph lipid concentration during locust flight: an adipokinetic hormone from the corpora cardiaca. J. Insect Physiol. 15: 611-620.

McDonald, G. 1995. Insect migration in an arid continent. I. Common armyworm *Mythimna convecta* in Eastern Australia. pp.131-150. In Insect migration:

Tracking resources through space and time (Drake, V. A., Gatehouse, A. G. eds.). Cambridge Univ. Press.

McMillian, W. W., Bowman, M. C., Burton, R. L., Starks, K. J., Wiseman, B. R. 1969. Extra of chinaberry leaf as a feeding deterrent and growth retardant for larvae of the corn earworm and fall armyworm. J. Econ. Ent. 62: 708-710.

McNeil, J. N., Cusson, M., Delisle, J., Orchard, I., Tobe, S. S. 1995. Physiological integration of migration in Lepidoptera. pp.279-302. In Insect Migration: Tracking resources through space and time (Drake, V. A., Gatehouse, A. G. eds.). Cambridge Univ. Press.

Mede, K., Rhône-Poulenc Agricultural Limited. 1997. Fipronil: Aquatic Field Dissipation. Rhone-Poulenc Agricultural Limited. Data Package ID No. 169043-45 DPR Document No. 52062-240 Pt. 1.

Medrano, F. G., Heinrichs, A. 1985. Response of resistant rices to brown planthopper collected in Mindamao, Philippines. Int. Rice Res. Newsl. 10(6): 14-15.

Metcalf, R. L., Luckmann, W. H. 1974. Introduction to insect pest management. Environ. Sci. & Tech. Ser., Urbana, Illinois.

Metcalf, R. L. 1984. Trends in the use of chemical insecticides. pp.69-91. In Judicious and efficient use of insecticides on rice. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Miyamoto, J. 1976. Degradation, metabolism and toxicity of synthetic pyrethroids. Enviro. Health Perspectives 14: 15-28

Miyashita, T. 1985. Estimation of the economic injury levels in the rice leafroller, *Cnaphalocrosis medinalis* Guenee (Lepidoptera: Pyralidae). I. Relation between yield loss and injury of rice leaves at heading or grain filling period. Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 29: 73-76.

Mochida, O. 1972. ^{14}C intake of *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hom.: Delphacidae) of different sexes and wing form from ^{14}C-labelled rice seedlings. Kontyu 40: 69-71.

Mochida, O. 1974. Long-distance movement of *Sogatella furcifera* and *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphcidae) across the East China Sea. Rice Entomol. Newsl. 1: 18-22.

Mochida, O., Okada, T. 1979. Toxolomy and biology of *Nilaparvata lugens* (Hom.: Delphacidae). pp.21-44. In Brown planthopper: Threat to rice production in Asia. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Phillipines.

Mochida, O., Perfect, T. J., Dyck, V. A., Major, M. M. 1982. The whitebacked planthopper *Sogatella furcifera* (Harvath) (Homptera: Delphacidae) its pest status and ecology in Asia. A paper presented at Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Mochida, O., Suryana, T. 1976. Occurrence of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homp. Dephacidae) on rice in Indonesia. Rice Entomol. Newsl. 4: 39.

Mochida, O., Suryana, T., Wahyu, A. 1977. Recent outbreaks of the brown planthopper in Southeast Asia (With special reference to Indonesia). pp.170-191. In The rice brown planthopper. Food and Fert. Tech. Cent. for Asian and Pacific Reg., Taipei.

Moericke, V. 1955. Uber die Lebensgwohnheiten der geflugelten Blattlause (Aphidina) unter besonderer Berucksuchtigung des verhaaltensbeim Landen, 7. Angew. Ent. 37: 29-91.

Morgan, D. R,. Tugwell, N. P., Bemhardt, J. L. 1989. Early rice field drainage for control of rice water weevil (Coleoptera: Curculionidae) and evaluation of an action threshold base upon leaf-eating scars of adults. J. Econ. Entomol. 82: 1757-1759.

Morooka, S., Ishibashi, N., Tojo, S. 1988. Relationship between wing-form response to nymphal density and black colouration of adult body in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphcidae). Appl. Ent. Zool. 23: 449-458.

Murai, T. 1991. Migration and life cycle of aphids. pp.135-144. In Migration and dispersal of agricultural insects. Nat. Inst. Agro-environ. Sci., Tsukuba, Japan.

Murakami, T. 1958. The sudden change of upper westerlies near the Tibetan Plateau at the beginning of summer season. J. Met. Soc. Jpn. 36: 239-247.

Murakata, K., Saito, S., Ogawa, T., Ishii, S. 1959. Oryzanone, an attractant to the stem borer. Bull. Agric. Chem. Soc. Jpn. 23: 64-65.

Murakata, K., Okamoto, D. 1964. Varietal resistance to rice stem borer in Japan. In The major insect pests of rice. Int. Rice Res. Inst. Los Baños, Johns Hopkins Press, Baltimore.

NAC (National Academy of Science). 1969. Insect-Pest Management and Control. Nat. Acad. Sci. Nat. Acad. Press,Washington. D. C.

Nagata T. 1982. Insecticide resistance and chemical control of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae). Bull. Kyushu Nat. Agric. Expt. Stn. 22: 49-164.

Nagata, T., Kamimuro, T. 2002. Joint survey on insecticide susceptibility of the brown planthoppers in Asian countries. Plant Prontection 56: 488-491.

Nagata, T., Maeda, T., Moriya, S., Kisimoto, R. 1973. On the time of control for the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål. Jap. J. Appl. Entomol. Zool. 17: 71-76.

Nagata, T., Masuda, S., Moriya, T., 1979. Development of insecticide resistance in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae). Appl. Entomol. Zool. 14: 264-269.

Nakagahra, M., Akihara, T., Hayashi, K. 1975. Genetics variation and geographic cline of esterase isozymes in native rice varieties. Jap. J. Genet. 50: 373-382.

Nauen, R., Tietjen, K., Wagner. K., Elbert, A. 1988. Efficacy of plant metabolities of imidacloprid against *Muzus persicare* and *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae). Pesticide Sci. 52: 53-57.

Nekanisi, Y. 1970. Application of disyston into seedling in nursery boxes for control of rice strip virus. Pesticides Research 16(3): 1-4. (in Japanese)

Nemoto, F. 2001. Aplication of pesticides with longlasting effect to the rice seedling boxes and its future trend. Plant Protection 55: 251-254. (in Japanese).

Nemoto, H., Yokoo, M. 1994. Experimental selection of brown planthopper population on mixtures of resistant rice lines. Breed. Sci. 44: 133-136.

Nielson, M. W., Don, H. 1974. Interaction between biotypes of the spotted alfalfa aphid and resistance in alfalfa. J. Econ. Entom. 67(3): 368-370.

Nitta, A. 1993. Microbial control of rice water weevil, *Lissorhoptrus oryzophilus* (Coleoptera: Curculianidae) and green rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps* (Hemiptera: Deltocephalidae) with two entomogenous fungi (Deuteromycotina). pp.413-432. In Proc. Symp. on The use of biological control agents under integrated pest management. Food and Fert. Tech. Cent. for the Asian and Pacif. Reg., Taipei.

Noda, H. 1986. Damage to ears of rice plants caused by the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Himeptera: Delphacidae). App. Entomol. Zool. 21: 474-476.

Noda, H. 2009. How can planthopper genomics be useful for planthopper management? pp.429-445. In Planthoppers: New threats to sustainability of intensive rice production systems in Asia (Heong, K. L., Hardy, B. eds.). Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Noda, T., Kiritani, K. 1989. Landing places of migratory planthoppers, *Nilaparvata lugens* (Stál.) and *Sogatella furcifera* (Harváth) (Homoptera: Delphacidae) in Japan. App. Ent. Zool. 24: 59-65.

Nottinghan, S. F., Hardie, J., Tatchell, G. 1991. Flight behavior of the bird cherry aphid, *Rhopalosiphum padi.* Phys. Entomol. 16: 223-229.

O'brin R. D. 1967. Metabollism of organophosphates. pp.66-82. In Insecticides: Action and Metabolism, Academic Press.

Oka, I. N. 1979. Cultural control of brown planthopper. pp.357-369. In Brown planthopper: threat to rice production in Asia. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Oka, I. N. 1988. Role of cultural techniques in rice IPM systems. pp.83-93. In Proc. Pesticide management and integrated pest management in Southeast Asia (Teng, P. S., Heong, K. L. eds). Pattaya, Tailand.

Oka, I. N. 2003. Integrated pest management in Indonesia: IPM by farmers. pp.223-238. In Intergrated pest management in the global Arena (Maredia, K. H., Dakoun, D., Mota-Sanchez, D. eds.). CABI Publ. Wallingford, UK.

Oka, I. N., Manwan, I. 1978. Integrated control of the brown planhopper in Indonesia. pp.65-77. In The brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). Proce. Symp. on brown planthopper. Special Publ. of Indon. Inst. of Sci. Jakarta. 133pp.

Okada, T. 1977. Toxonomic characters for identification of the rice brown planthopper (*Nilaparata lugens*) and its related species in the Asian and Pacific region. pp.1-26. In The rice brown planthopper. Food and Fert. Tech. Cent. for the Asian and Pacific Reg., Taipei.

Ono, T., Nakasuj, I. F. 1980. Comparison of flight activity and oviposition characteristics of the seasonsl forms of a migratory skipper butterfly, *Parnara guttata guttata*. Kontyu 48(2): 226-233.

Onuki, M. 2012. Genetic diversity of rice strip virus collected in Japan. In Int. Symp. on New insight into insecticide resistance of rice planthopper and their associated diseases. Nat. Agr. Res. Organ. Fukuoka, Japan.

Ooi, P. A. C., Shepard, B. M. 1994. Predators and parasitoids of the rice insect pests. pp.585-612. In Biology and management of rice insects (Heinrichs, E. A. ed.). Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Otuka, A. 2012. Overseas migration prediction for the small brown planthopper. p.9. In Int. Symp. on New insight into insecticide resistance of rice planthopper

and their associated diseases. Nat. Agr. Res. Organ, Fukuoka, Japan.

Otuka, A., Dudhia, J., Watanabe, T., Furuno A. 2005. A new trajectory analysis method for migratory planthoppers, *Sogatella furcifera* (Horvath) and *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae). Agric. Forest. Entomol. 7: 1-19.

Otuka, A., Huang, S. H., Sanada-Morimura, S., Matsumura, M. 2012. Migration analysis of *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae) from the Philippines to Taiwan under typhoon-induced windy conditions. Appl. Entomol. Zool. 47: 263-271.

Otuka, A., Mathumura, M., Watanabe, T., Dinh, V. T. 2007. An analysis of the first step migration of the East Asian populations of rice planthoppers. pp.106-116. In Int. workshop on Forecasting and management of rice planthoppers in east Asia: Their ecology and genetics. Kumamoto, Japan.

Otuka, A., Matsumura, M., Watanabe, T., Dinh, V. T. 2008. A migration analysis for rice planthopper, *Sogatella furcifera* (Hatváth) and *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae), emigrating from Northern Vietnam from April to May. Appl. Entomol. Zool. 43: 527-534.

Otuka, A. 2009. Migration analysis of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus,* in Western Japan and Korea. pp.145-157. In Proc. APEC workshop on the epidemics of migratory insect pest and associated virus diseases in rice and their impact on food security in APEC member economics. Seoul, Korea.

Otuka, A., Matsumura, M., Sanada-Morimura, S., Takeuchi, H., Watanabe, T., Ohtsu, R., Inoue, H. 2010. The 2008 overseas mass migration of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus*, and subsequent outbreak of rice stripe disease in western Japan. Appl. Entomol. Zool. 45: 259-266.

Otuka, A., Zhou, Y., Lee, G. S. 2012. Prediction of overseas migration of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Hemiptera: Delphacidae) in East

Asia. Appl. Entomol. Zool. 47: 379-388.

Ôya S. 1900, Feeding habits and honeydew components of the green rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps* Uhler, (Hemiptera: Deltocephalidae) Appl. Ent. Zool. 15: 392-399.

Paik, W. K. 1977. Historical review of the occurrence of the brown planthopper in Korea. pp.230-247. In The rice brown planthopper. FFTC (ASPAC). Taipei, Taiwan.

Painter, R. H. 1951. Insect resistance in crop plants. MacMillan, New York. 520pp.

Painter, R. H. 1958. Resistance of plant to insects. Ann. Rev. Entomol. 3: 267-290.

Palmquist, K., Fairbrother, A., Salatas, J., Guiney, P. D. 2011. Environmental fate of pyrethroids in urban and suburban stream sediments and appropriateness of *f*model in determining ecological risk. Integr. Environ. Asses. Manage. 7: 325-335.

Palmquist, K., Salatas, J., Fairbrother, A. 2012. Pyrethroid insecticides: Use, Environmental Fate, and Ecotoxicology. pp.251-278. In Insecticide - Advance in Integrated Pest Management. (Perveen, F. ed.) Available from: http://www.intechopen.com/books/insecticides-advances-in-integrated-pest-management/pyrethroidinsecticides-use-environmental-fate-and-ecotoxicology

Panda, N., Heinrichs, E. A. 1983. Levels of tolerance and antibiosis in rice varieties having moderate resistance to the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphcidae). Environ. Entomol. 12: 1204-1214.

Pathak, M. D. 1967. Varietal resistance to rice stem borer at IRRI. pp.405-418. In Major insect pests of rice plant. John Hopkins Press, Baltimore.

Pathak, M. D. 1977. Defense of the rice crop against insect pests. pp.287-295. In The genetic basis of epidemics in agriculture (Day, P. R., Ann, N. T. eds.). Acad. Sci., New York.

Pathak, M. D., Andres, F., Galacgnac, N., Ramos, R. 1971. Resistance of rice

varieties to striped borer. IRRI Tech. Bull. 11. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Phlippines.

Pathak, M. D., Andres, F., Galaegac, N., Raros, R. 1971. Striped borer, *Chilo suppressalis* resistance in rice varieties. Int. Rice Res. Inst., Los Bañas, Philippines. 50pp.

Pathak, M. D., Cheng, C. H., Fortuno, M. E. 1969. Resistance to *Nephotettix impicticeps* and *Nilaparvata lugens* in varieties of rice. Nature 223: 502-504.

Pathak, M. D., Khush, G. S. 1979. Studies of varietal resistance in rice to the brown planthipper at the International Rice Research Institute. pp.285-302. In Brown planthopper: Threat to rice production in Asia. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Pathak, P. K., Heinrichs, E. A. 1982. Selection of biotype population 2 and 3 of *Nilaparvata lugens* by exposure to resistant rice varieties. Environ. Entomol. 11: 85-90.

Patnakamjorn, S., Pathak, M. D. 1967. Varietal resistance of rice to the Asiatic rice borer, *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae) and its association characters. Ann. Entomol. Soc. Amer. 60: 287-292.

Pedgham, D. E. Perfect, T. J., Cook, A. G. 1987. Flight behaviour in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae). Insect Sci. Appl. 8: 71-75.

Pedgley, D. E., Reynolds, D. R., Tatchell, G. M. 1995. Long-range insect migration in relation to climate and weather: Africa and Europe. pp.3-29. In Insect Migration: Tracking resources through space and time (Drake, V. A., Gatehouse, A. G. eds.). Cambridge Univ. Press, 478pp.

Phuong, P. P., Chau, L. M., Cohen, M. B. 1997. Resistance of varieties derived from *Oryza sativa* / *Oryza officinalis* to brown planthopper in the Mekong Delta, Vietnam. Int. Rice Newsl. 22(1): 26-27.

Pontius, J., Dilts, R., Bartlett, A. 2011. From farmer field schools to community IPM:

Ten years of IPM training in Asia. Food Agr. Org., UN Reg. Office, Bangkok, Thailand.

Racke, K. D., Coats, J. R. 1988. Comparative degradation of organophosphorus insecticides in soil: specificity of enhanced microbial degradation. Iowa State Univ. Digital Repository, Entomology Publications.

Rainey, R. C. 1955. Observation of desert locust swarm by radar. Nature 175: 77.

Rajagopal, B. S., Rao, V. R., Nagendrappa, G., Senthunathan, N. 1984. Metabolism of carbaryl and carbofuran by soil enrichment and bacterial cultures. Can. J. Microbiol. 31: 1458-1466.

Rankin, M. A., McAnelly, M. L., Bodenhaner, J. E. 1986. The oögenesis-flight syndrome revisited. pp.27-48. In Insect Flight: Dispersal and Migration. (Danthanarayana, W. ed.) Springer-Verlag, New York.

Rao, P. R. M., Rao, P. S. P. 1984. Note on effects of repeated soil applications of diaginon and carbofuran. Pesticudes 28(12): 57-58.

Raulston, J. R., Pair, S. D., Pedraza Martinez, L. K., Westbrook, J., Sparks, A. N., Valdez, V. M. 1986. Ecological studies indicating the migration of *Heliothis zea, Spodoptera frugiperda* and *Heliiothis viresscens* from Northeastern Mexico and Texas. pp.204-220. In Insect flight: Dispersal and migration. (Danthanarayana, W. ed.). Springer-Verlag, New York..

Reddy, T. V. 1966. Rice in Andhra Pradesh. Agr. Inform. Unit, Directiorate Agr., Hyderabad, A. P. India.

Reissig, W. H., Heinrichs, E. A., Valencia, S. L. 1982. Insecticide induced resurgence of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* in rice varieties with different levels of resistance. Environ. Entomol. 11: 165-168.

R. I. C. E. 1967. Rice production manual. Compiled by Rice Inform. Cooper. Effort Project of the College of Agr., Univ. Philippines in coop. with The Int. Rice Res. Inst., Los-Baños, Philippines.

Riley, J. R. 1989. Remote sensing in entomology. Ann. Rev. Entomol. 34: 247-271.

Riley, J. R. 1999. Riding on the wind: A radar perspective of insect flight. Inaugural Lecture Series, Univ. Greenwich, London, UK.

Riley, J. R., Armes, N. J., Reynolds, J. R., Smith, A. D. 1992. Nocturnal observations on the emergence and flight behavior of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in the post-rainy season in central India. Bull. Entom. Res. 82: 243-256.

Riley, J. R., Reynolds, D. R. 1979. Radar-based studies of the migratory flight of grasshopper in the middle Niger area of Mali. Proc. Radar Soc. Lond. B. 204: 67-82.

Riley, J. R., Reynolds, D. R. 1983. A long-range migration of grasshoppers observed in Sahalian zone of Mali by two radars. J. Anim. Ecol. 52: 167-183.

Ripper W. E. 1956. Effect of pesticides on the balance of arthropoda population. Annu. Rev. Entomol. 1: 403-438.

Robinson, T. P. 1995. Geographic information systems and remotely sensed data for determining the seasonal distribution of habitats of migrant insect pests. pp.335-352. In Insect migration: Tracking resources through space and time (Drake, V. A., Gatehouse, A. G. eds.). Cambridge Univ. Press.

Roger, P. A., Bhulyan, S. I. 1995. Behavior of pesticides in rice-based agroecosystems: a review. pp.111-148. In Impact of pesticides on farmer health and the rice environment (Pingali, P. L., Roger, P. A. eds.). Publ. by Spinger. htts://archiveorg/details/springer-10.1007-978-911-0647-4.

Rombach, M. C., Roberts, D. W., Aguda, R. M. 1994. Pathogens of rice insects. pp.613-656. In Biology and management of rice insects (Heinrichs E. A. ed.), Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Romena, A. M., Rapusas, H. R., Heinrichs, E. A. 1986. Evaluation of rice accessions for resistance to the white backed planthopper, *Sogatella fucifera* (Horvath) (Homoptera: Delphacidae). Crop Prot. 5: 334-340.

Rosenberg, L. J., Magor, J. I. 1983. A technique for examining the long-distance

spread of plant virus diseases transmitted by the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) and other wind-borne insect vectors. pp.229-238. In Plant Virus Epidemiology (Plumb, R. T., Thresh, J. M. eds.). Blackwell Sci. Pub, Oxford.

Rubia-Sanchez, E., Suzuki, Y., Miyamoto, K., Watanabe, T. 1999. The potential for compensation of the effects of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål. (Homoptera: Delphacidae) feeding on rice. Crop Prot. 18: 39-45.

Rubia-Sanchez, E., Suzuki, Y., Arimura, K., Miyamoto, K. 2003. Comparing *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella fuciferera* (Horvath) (Homoptera: Delphacidae) feeding effect on rice plant growth processes at the vegetative stage. Crop Prot. 22: 967-974.

Sacktor, B. 1975. Biochemistry of insect flight. Part I. Utilization of fuels by muscle. pp.1-88. In Insect Biochemistry and Function (Candy, D. J., Kilby, B. A. eds.). Wiley, New York.

Saini, R. S., Kush, G. S., Heinrichs, E. A. 1982. Genetic analysis of resistance to white backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Horveth) in some rice varieties. Crop Prot. 1(3): 289-297.

Sakai, J. 2012. Development of a detection method for southern rice black-streaked dwarf virus (SRBSDV). pp.14. In Proc. of NARO Int. Symp. 2012 on New insights into insecticide resistance of rice planthoppers and their associated virus disease. NARO Kyushu Okinawa Agri. Res. Cent., Kumamoto, Japan.

Sampath, S., Govindaswami, S. 1958. Wild rices of *Orissa* and their relationship to the cultivated varieties. Rice News Teller 6(3): 17-20.

Sampath, S., Seetharaman, R. 1962. The formation of geographic races of the cultivated rice, *Oryza sativa*. Rice News Teller 10(1): 17-19.

Sanada-Morimura, S. 2012. Risk evaluation of SBPH's insecticide resistance after overseas migration. pp.5. In Proc. NARO Intern. Symp. 2012: New insights into insecticide resistance of rice planthoppers and their associared virus

diseases. Fukuoka, Japan.

Satoh, M., Nakajima, T., Kanno, H. 2005. Induce resistance to rice blast disease in rice plants infested with white-backed planthopper in a paddy field. Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 49: 105-111.

Saxena, R. C., Barrion, A. A. 1985. Biotypes of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) and strategies in deployment of host plant resistance. Insect Sci. Appl. 6: 271-289.

Saxena, R. C., Waldbauer, G. P., Liquido, N. J., Puma, B. C. 1980. Effects of neem oil on the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis*. pp.189-204. In Natural pesticides from the Neem tree (*Azadirachta indica* A. Juss). Proc. 1st. Int. Neam Conf., Rottach-Egern, W. Germany.

Saxena, R. C. Liquido, N. J., Justo, H. D. 1980. Neam seed oil, a potential antifeedant for the control of the rice brown planthopper, *Nilaparvata lugen*s. pp. 171-188, In Natural pesticides from the Neam tree (Schmutterer, H., Ascher, K. R. S., Rembold, H. eds.). Proc. 1st Int. Neam Conf., Rottach-Egern, W. Germany.

Schaefer, G. W. 1969. Radar studies of locust, moth and butterfly migration in the Sahara. Proc. Radar Entomol. Soc. London. 34,33: 39-40.

Scholz. K., Spiteller. M. 1992. Influence of groundcover on the degradation of ^{14}C-imidacloprid in soil. Brighton Crop Prot. Conf. - Pests and Diseases 883-888.

Seino, H., Shiotsuki, Y., Oya, S., Hirai, H, 1987. Prediction of long-distance migration of rice planthoppers to Northern Kyushu considering low-level jet stream. J. Agri. Meteor. 43: 203-208.

Seino, Y., Suzuki, Y. Sogawa, K. 1996. An ovicidal substance produced by rice plants in response to oviposition by the white backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae). Appl. Entomol. Zool. 31: 467-473.

Sellers, R. F., Pedgley, D. E. 1985. Possible windborne spread to Western Turkey of bluetongue virus in 1977 and of Akabane virus in 1979. J. Hygienee (Combridge). 95: 149-158.

Seo, B. Y., Jung, J. K.. Choi, B. R. Park, H. M. 2007. Virulence of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, recently collected in Korea. pp.54-60. In Int. workshop on forecasting and management of rice planthoppers in Easr Asia: Their ecology and genetics. Nat. Agr. Res. Cent. for Kyushu Okinawa Reg., Kumamoto, Japan

Sethunathan, N., Pathak, M. D. 1972. Increased biological hydrolysis of diaginon after repeated appliicaation in rice paddies. J. Agric. Food Chem. 20: 586-589.

Sethunathan, N. 1989. Biodegradation of pesticides in tropical rice ecosystems. pp.247-264. In Ecotoxicology and Climate (Bourdeau, P., Haines, J. A., Klein, W., Krishna Murti, C. R. eds.). Jehn Wiley & Sons, New Jersey.

Shaw, B. 1965. Depressions and associated desert locust swarm movements in the Middle East. pp.194-198. In Meteorology and the desert locust. WMO Tech. Note, World Meteor. Org. Geneva.

Sherma, T., Rozo, A., Toor, A. P. 2014. Degradation of imidacloprid in liquid by *Enterobacte*r sp. Strain ATA1 using co-metabolism. Bioremediation J. 18(3): 227-235. Dol:1080/108898682014.918575.

Shih, H. P., Cheng, C. H. 1992. Present status of rice water weevil, *Lissorhoptrus oryzaphilus* Kuschel in Taiwan. pp.6-1~6-18. In Int. Workshop on spreads and control measures of rice water weevil and migratory rice insect pests in East Asia. Suwon, South Korea.

Shiraki, T. 1917. Paddy borer, *Schoenobius incertullus* Walker. Agric. Expt. Sta., Formosa Spec. Rept. 15: 1-256.

Showers, W. B., Smelser, R. B., Keaster, A. J., Whithord, F., Robinson, J. F., Lopez, J. D., Taylor, S. E. 1989. Recapture of marked black cutworm (Lepidoptera:

Noctuidae) males after long-range transport. Envir. Entomol. 18: 447-458.

Showers, W. B., Keaster, A. J., Raulston, J. R., Hendrix, W. H. III, Derrick, M. E., McCorcle, M. D., Robinson, J. F., Way, M. O., Wallendorf, M. J., Goodenough, J. L. 1993. Mechanism of southward migration of a noctuid moth (*Agrotis ipsilon* (Hufnagel)): A complete migrant. Ecology 74: 2303-2314.

Simon, S. R. 2015. Simulating the environmental fate of cypermathrin in using the PeFT Rice Model. Asia Pacific J. Multidisciplinary Res. 3(5): 12-15.

Smelser, R. B., Showers, W. B., Shaw, R. H., Taylor, S. E. 1991. Atmospheric trajectory analysis to project long-range migration of black cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) adults. J. Econ. Entom. 84: 879-885.

Smith, R. F. 1972. The impact of the green revolution on plant protection in tropical and subtropical areas. Bull. Entomol. Soc. Am. 18: 7-14.

Sogawa, K. 1970. Studies on feeding habit of the brown planthopper. I. Effect of nitrogen-deficiency of host plant on insect feeding. Jpn. Appl. Entomol. Zool. 14: 101-106.

Sogawa, K. 1970. Studies on feeding habit of the brown planthopper. II. Honeydew excretion. Jpn. J. Entomol. Zool. 14: 134-149.

Sogawa, K. 1970. Effect of asparagine on feeding of the brown planthopper. Jpn. Appl. Entomol Zool. 14: 107.

Sogawa, K. 1976. Feeding physiology of the brown planthopper. pp.95-116. In The rice brown planthopper. Food and Fert. Tech. Cent. for Asian and Pacific Reg. Taipei, Taiwan.

Sogawa, K. 1977. The brown planthopper in India and Sri-Lanka. A trip report about the brown planthopper and white-backed planthopper in southern Asia from Oct. 24 to Nov. 6, 1977. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines.

Sogawa, K. 1992. The rice brown planthopper: feeding physiology and host plant interactions. Ann. Rev. Entomol. 27: 49-73.

Sogawa, K. 1995. Windborn displacements of the rice planthoppers related to the seasonal weather patterns in Kyushu district. Bull. Kyushu Nat. Agr. Exp. Stn. 28: 219-278.

Sogawa, K. 1997a. Overseas immigration of rice planthoppers into Japan and associated meteorological system. pp.13-35. In Migration and management of insect pests of rice in monsoon Asia. China Nat. Rice Res. Inst., Hangzhou, China.

Sogawa, K. 1997b. The monsoon-dependent migration of rice planthopper in East Asia. pp.217-230. In Migration and management of insect pests of rice in monsoon Asia. China Nat. Rice Res. Inst., Hangzhou, China.

Sogawa, K. 2014. Planthopper outbreaks in different paddy ecosystems in Asia: Man-made hopper plagues that threatened the green revolution in rice. pp.69-80. In Rice planthoppers: Ecology, Management, Socio Economics and Policy (Heong, K. L., Cheng, J., Escalada, M. M. eds.). Zhejiang Univ. Press, China.

Sogawa, K., Cheng, C. H. 1979. Economic thresholds, natural damage, and losses caused by the brown planthopper. pp.125-142. In Browm planthopper: Threat to rice production in Asia. Int. Rice Res. Inst. Los Baños, Philippines.

Sogawa, K., Klin, D., Bhagiawati, A. H. 1984. Characterization of the brown planthipper on IR42 in North Sumatra, Indonesia. Int. Rice Newsl. 9(1): 25.

Sogawa, K., Nhat. P. T. 1997. Ecology of brown planthopper and impact of IPM in the Red River Delta, Vietnam. pp.150-166. In Migration and management of insect pest of rice in monsoon Asia. China Nat. Rice Res. Inst., Hangzhou, China

Sogawa, K., Watanabe, T. 1991. Redistribution of the rice planthoppers and its synoptic monitoring in East Asia. pp.215-228. In Migration and dispersal of agricultural insects. Nat. Inst. Agro-Envir. Sci. Tsukuba, Japan.

Sogawa, K., Liu, C., Qiang, Q. 2009. Prevalence of white backed planthopper in

Chinese hybrid rice and white backed planthopper resistance in Chinese japonica rice. pp.257-280. In Planthoppers: New threats to the sustainability intensive rice production systems in Asia. Int. Rice Res. Inst., Los-Baños, Philippines.

Stapley, J. H. 1976. The brown planthopper and *Cyrtorhinus* spp. predator in the Soolomon Islands. Rice Entomol. Newsl. 4: 15-16.

Stein, W. 1986. Dispersal of insects of public health importance. pp.242-252. In Insect flight: Dispersal and migration (Danthanarayana, W. ed.), Springer-Verlag, New York.

Stern, V. M., Smith, R. F., Van den Bosch, R., Hagen, K. S. 1959. The integrated control concept. Hilgardia 29: 81-101.

Southwood, T. R. E. 1962. Migration of terrestrial arthropods in relation to habitat. Biol. Rev. 37: 171-214.

Sugimoto, T., Yamazaki, A. 1969. Studies on the brown planthopper: Effect of fertilizer application on development and oviposition. Proc. Assoc. Pl. Prot. Hokuliku 17: 29-32.

Sugimoto, T., Sakuratani, Y., Yamashita, M. 1984. Hopperburn occurrence in both paddy fields applied neither fertilizer nor pesticide and applied them conventionally. Mem. Fac. Agr. Kinki Univ. 17: 13-21.

de Sugun, S. B., Mochida, O., Parducho, M. 1991. The occurrence and migration of the Malayan black bug in Parawan, the Philippines. pp.247-256. In Migration and dispersal of Agricultural Insects. Nat. Inst. Agr-Envir. Sci., Tsukuba. Japan.

Sur, R., Stork. A. 2003 Up take, Translocation and metabolism of imidacloprid in plants. Bull. Insectology 56: 35-40.

Suzuki, Y., Sogawa, K., Seino, Y. 1996. Ovicidal reaction of rice plants against the whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* Horváth (Homoptera: Delphacidae). Appl. Entomol. Zool. 31: 111-118.

Symmons, P. M., McCulloch, L. 1980. Persistence and migration of *Chortoicetes terminifera* (Walker) (Orthoptera: Acrididae) in Australla. Bull. Entomol. Res. 70: 197- 201.

Syobus, S. Otuka, A. Matsumura, M. 2011. Trap catches of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* Fallén (Hemiptera: Delphacidae). Appl. Entomol. Zool. 46: 41-50.

Tabashnik, B. E., Cushing, N. L., Finson, N., Johnson, M. W. 1990. Field-development of resistance to *Bacillus thuringiensis* in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). J. Econ. Entomol. 83: 1671-1676.

Tabashnik, B. E., Lin, Y., Dennehy, T. J., Sims, M. A., Sisterson, M. S., Biggs, R. W., Carriere, Y. 2002. Inheritance of resistance to *Bt* toxin Cryl. Ac in a field-derived strain of pink ballworm (Lepidoptera: Gelechiidae). J. Econ. Entomol. 95: 1018-1026.

Takahashi, A. 1997. The weather analysis program to estimate the potential source areas and pathways of windborn migrants of the rice planthoppers. pp.36-46. In Migration and management of insect pests of rice in monsoon Asia. China Nat. Rice Res. Inst., Hangzhou, China.

Takeda, M. 1974. Mating behavior of the brown planthopper, *Nilaparvarta lugens* (Stål). Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 18: 43-51.

Takeuchi, Y. 1987. Manual of the weather analysis program to develop models for forecasting the migration of migratory insect pests Jap. Mete. Ass. 80pp.

Takimoto, Y., Hirota, M., Inui, H., Miyamoto, J. 1976. Decomposition and leaching of radioactive of sumithion in 4 different soil under laboratory conditions. J. Pestic. Sci.1: 131-143.

Tan, Y. J., Zhang, Y., Huang, B. C. 1997. Monitoring the variation dynamic of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) biotypes and recommending the resistant rice cultivars and resources. Acta Entomol. Sinica XL(1): 32-39.

Tanaka, A., Kawano, K., Yamaguchi, J. 1964. Photosynthesis, respiration and plant

types of the tropical rice plant. Tech. Bull. 7. Int. Rice Res. Inst., Los-Baños, Philippines.

Tanaka, K., Matsumura, M. 2000. Development of virulence to resistant rice varieties in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae), immigrating into Japan. App. Entomol. Zool. 35: 529-533.

Tang, J. Y., Wang, J. Q. 1997. Forecasting and control of rice insect pests and their recent population trends in China. pp.1-11. In Migration and management of insect pests of rice in monsoon Asia. China Nat. Rice Res. Inst., Hangzhou, China.

Tang, Q. Y., Hu, G. W., Tang, J., Hu, Y., Cheng, J. A. 1998. Relationship between outbreak frequency of *Sogatella fucifera* and growing area of hybrid rice. J. Southwest Agric. Univ. 20: 456-459.

Tatsuki, S., Kanno, H. 1981. Disruption of sex pheromone communication in *Chilo suppressalis* with the pheromone and analogs. pp.313-325. In Management of insect pests with semiochemicals: Concepts and practice. (Mitchell, E. R. ed.). Plenum Press, N. Y.

Taylor, L. R. 1958. Aphid dispersal and diurnal periodicity. Proc. the Linnean Society of London 169: 67-73.

Thanh, D. V., Nga. N. T., Duong, N. T. 2001. Recent outbreak of white backed planthopper and its management in Red River Delta. pp.137-148. In Proc. 3rd. Int. workshop on Inter-country forecasting system and management for brown planthopper in East Asia. Hanoi, Vietnam.

Thanh, D. V., Chai, V. T., Duong, N. T., Thu, P. B. 2006. Current status of rice planthopper in Northern Vietnan and their management. pp.8. In Int. workshop on ecology and management of rice planthoppers. Hangzhou, Zhejiang, China.

Thanh, D. V., Dung, L. T., Thu, P. B., Duong, N. T. 2007. Management of rice planthoppers in northern Vietnam. pp.1-9. In Int. workshop on Forecasting

and management of rice planthoppers in East Asia: Their ecology and genetics. Kumamoto, Japan.

Thanh, D. V., Vien, N. V., Hung, N. T., Thu, P. B. 2012. Occurrence of insect vector (WBPH) and southern rice black-streaked dwarf virus (SRBSDV) in Northern Vietnam and its management. p.11. In Proc. NARO Int. Sym. on New insights into insecticides resistance of rice planthoppers and their associated virus diseases. Fukuoka Int. Congresss. Cent., Fukuoka, Japan.

Thuyet, D. Q., Watanabe, H., Ok, J. 2012. Effect of PH on the degradation of imidacloprid and fipronil in paddy water. J. Pesti. Sci. 38: 223-227.

Turner, R., Song,Y. H., Uhm, K. B. 1999. Numerical model simulations of brown planthopper *Nilaparvata lugens* and white-backed planthopper *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphcidae) migration. Bull. Entomol. Res. 89: 557-568.

Uhm, K. B., Song, Y. H., Lee, B. H. 2007. Analysis on migration of brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stal), related to weather data using boundary layer model. pp.117-126. In Int. workshop on Forecasting and management of rice planthoppers in East Asia: Their ecology and genetics. Nat. Agr. Res. Cent. Kyushu Okinawa Reg., Kumamoto, Japan.

Upadhyay, V. R., Shah, A. H., Desai, N. D. 1981. Influence of levels of nitrogen and rice varieties on the incidence of rice leaf-folder *Cnaphalocrocis medinalis* Guenee. Gujarat Agric Univ. Res. J. 6: 115-117.

U. S. Environmental Protection Agency. 1996. New Pesticide Fact Sheet. PB96-181516. EPA737-F-96-005.U.S. EPA office of prevention, Pesticides and toxic Substance.

U. S. Environmental Protection Agency. EPA Reviews of Fipronil (Frontline).U.S. EPA Office of prevention, Pesticides and toxic substances 1994-1996.

Uvarov, B. P. 1977. Grasshoppers and locusts: A handbook of general Acridology, vol. II. Centre for Overseas Pest Research, London.

Van Eerd, L. L., Hoagland, R. E., Hall, J. C. 2003. Pestucide metabolism in plants and microorganisms. Weed Sci. 51: 472-495.

Varca, A. S., Peuer, R. 1976. The brown planthopper and its biotypes in the Philippines. Plant Prot. News 5(1): 1-4.

Velusamy, R., Heinrichs, E. A., Khush, G. S. 1987. Genetics of field resistance of rice to brown planthopper. Crop Sci. 27(2): 199-200.

Wada, T., Ichinose, K., Higuchi, H. 1999. Effect of drainage on damage to direct-sown rice by apple snail, *Pomacea canaliculata* (Lamarck) (Gastropoda: Ampullariidae). Appl. Entomol. Zool. 34: 365-370.

Wada, T., Kobayashi, M. 1991. Life history of the rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis* in Japan: Invasion, Population Explosion and Dispersal. pp.61-70. In Migration and Dispersal of Agricultural Insects. Nat. Inst. Agro-Environ. Sci., Tsukuba, Japan.

Walden, K. J. 1995. Insect migration in an arid continent. III. The Australian plague locust *Chorotoicetes terminifera* and the native budworm *Helicoverpa punctigera* in Western Australia. pp.173-190. In Insect migration: Tracking resources through space and time (Drake, V. A., Gatehouse, A. G. eds.). Cambridge Univ. Press.

Walker, T. J. 1985. Butterfly migration in the boundary layer. pp.704-723. In Migration mechanisms and adaptive significance (Rankin, M. A. ed.). Contributions in Marine Science. Suppl. Vol. 27. Texas Univ.

Walters, K. F. A., Dixon, A. F. G. 1984. The effect of temperature and wind on the flight activity of cereal aphids. Ann. Appl. Biol. 104: 17-26.

Waloff, Z. 1959. Notes on some geographical aspects of the desert locust problem. pp.23-26. In Rep. of the FAO Panel of experts on the strategy of desert locust plague control. Document no. FAO/59/6/4737.

Waloff, Z. 1958. The behavior of locusts in migrating swarms. pp.567-570. In Proc. X Int. Cogr. Entom. (Montrreal, 1956).

Wamhoff, H., Schneider, V. 1999. Photodegradation of imidacloprid. J Agric. Food Chem. 47: 1730-1734.

Watanabe, T. 1995. Forecasting systems for migrant pests. II. The rice planthoppers *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* in Japan. pp.365-376. In Insect Migration: Tracking resources through space and time (Drake, V. A., Gatehouse, A. G. eds.). Cambridge Univ. Press, 478pp.

Watanabe, T., Matsumura, M., Otuka, A. 2007. Recent occurrences of long-distance migratory planthoppers and factors causing outbreaks in Japan. pp.36-42. In Int. workshop on Forecasting and management of rice planthoppers in East Asia: Their ecology and genetics. Nat. Agric. Res. Cent. Kyushu-Okinawa Reg., Kumamoto, Japan.

Watanabe, T., Matsumura, M., Otuka, A. 2009. Recent occurrence of long distance migratory planthoppers and factors causing outbreak in Japan. pp.179-189. In Planthoppers: New threats to the sustainability intensive rice production systems in Asia. Int. Rice Res. Inst., Los-Baños, Philippines.

Watanabe, T., Seino, H. 1991. Correlation between the immigration area of rice planthoppers and low-level jet stream in Japan. Appl. Ent. Zool. 26: 457-462.

Wei, T., Jia, D., Chen, H., Mao, Q., Liu, Q. 2012. The persistent route of southern rice black-streaked dwarf virus (SRBSDV) and rice ragged stunt virus (RRSV) in the bodies of planthopper vectors. pp.13. In Proc. Int. Symp. on new insight into insecticide resistance of rice planthoppers and their associated virus diseases. Fukaoka Int. Congress Cent., Fukuoka, Japan.

Wiersma, G. G.,Tai, G. H., Sand, P. F. 1972. Pesticide residue levels in soil. FY 1949. Pest Monit. J. 6: 194-228.

Wiktelius, S. 1984. Long-range migration of aphis into Sweden. Int. J. Biometero. 28: 185-200.

Williams, C. B. 1930. The Migration of butterflies. Oliver & Tweed, London.

Wilson, K. 1995. Insect migration in heterogeneous environments. pp.243-264. In

Insect migration: Tracking resources through space and time (Drake, V. A., Gatehouse, A. G. eds.). Cambridge Univ. Press, 478pp.

Wolf, W. W., Sparks, A. N., Pair, S. D., Westbrook, J. K. 1986. Radar observations and collections of insects in the Gulf Mexico. pp.221-234. In Insect flight: dispersal and migration. (Danthanarayana, W. ed.). Springer-Verlag, Berlin.

Xuyen, T. T. 1997. Ecological features and integrated management of brown planthopper in rice in the Red River Delta. pp.124-149. In Migration and management of insect pests of rice in monsoon Asia. China Nat. Rice Res. Inst., Hangzhou, China.

Yamashida, H., Umeya, K. 1972. Seasonal changes in wing length and fecundity of diamond back moth *Plutella xylostella*. Jap. J. Appl. Ent. Zool. 16: 180-186.

Yan, Y. L. 1991. Armyworm (*Mythimna separata*) migration and outbreak forcast in China. pp.31-40. In Migration and dispersal of agricultural insects. Nat. Inst. Agro-Environ. Sci. Tsukuba, Japan.

Yasuda, K. 1997. Imigration of rice planthoppers in Ishigaki Island, the most southern region of Japan. pp.49-57. In Proc. China-Japan joint workshop on Migration and management of insect pests of rice in monsoon Asia. China Nat. Rice Res. Inst., Hangzhou, China.

Ying, G. G., Kookna, K. 2002. Laboratory and field studies of the degradation of fipronil in a soil. Aust. J. Soil Res. 40(7): 1095-1102.

Yu, X., Lu, Z., Wu, G., Tao, L., Chen, Z., Zhang, X., Xu, H. 2001. The biotypes, wing-forms and the immigration of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål, in Zhejian province, China. J. Asia-Pacific Entomol. 4: 201-207.

Zeng, W., Liu. W. 1999. Kinetic and mechanism of hydrolysis of imidacloprid. Pest Sci. 55(4): 482-485.

Zhang, H. M., Yang, J., Chen, J. P., Adams, M. Z. 2008. A black-streaked dwarf disease on rice in China is caused by a novel fijivirus. Arch Virol. 153: 1893-1898.

Zhang, X. X. 1991. Migration of the rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée in China. pp.51-60. In Migration and dispersal of Agricultural Insects. Nat. Inst. Agro-Envir. Sci., Tsukuba, Japan

Zhou, B. H., Wang, H. K., Cheng, X. N. 1995. Forecasting systems for migrant pests. I. The brown planthopper, *Nilaparvata lugens* in China. pp.353-364. In Insect Migration: Tracking resources through space and time (Drake, V. A., Gatehouse, A. G. eds.). Cambridge Univ. Press.

Zhou, G. H., Wen, J. J., Cai, D. J., Li, P., Xu, D. L., Zhang, S. G. 2008. Southern rice blask-streaked dwarf virus: A new proposed Fijivirus species in the family Reaviridae. Chinese Sci. Bull. 63: 3677-3685.

Zhou, Y., Cheng, Z. 2012. Occurrence of rice strip virus and a proof for long-distance immigration of SBPH with RSV in China. pp.6. In Int. Symp. on new insight into insecticide resistance of rice planthoppers and their associated diseases. Fukuoka Int. Congress Cent., Fukuoka, Japan.

Zhu, M., Song, Y. H., Uhm, K. B., Turner, R .W., Lee, J. H., Roderick, G. K. 2000. Simulation of the long range migration of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål), by using boundary layer atmospheric model and the geographic information system. J. Asia-Pacific Entomol. 3(1): 25-32.

Zhu, Y. 2012. Occurrence of RSV and RBSDV and their management in Jiangsu Province, P. R. China. pp.1. In Int. Symp. on new insight into insecticide resistance of rice planthoppers and their associated diseases. Fukuoka Int. Congress Cent., Fukuoka, Japan.

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

東亞遷移性水稻害蟲及管理對策 / 鄭清煥編著.
-- 臺中市 : 農委會農試所, 民103.12

面 ; 公分

ISBN 978-986-04-1870-5(平裝)

1.稻米 2.植物病蟲害

434.111 103014532

東亞遷移性水稻害蟲及管理對策

發行人 ： 陳駿季
編著者 ： 鄭清煥
出版者 ： 行政院農業委員會農業試驗所
地　址 ： 台中市霧峰區中正路 189 號
電　話 ： (04)2330-2301
傳　真 ： (04)2330-2804
網　址 ： htt://www.tari.gov.tw
印　刷 ： 蘭潭彩色印刷股份有限公司
　　　　　嘉義市興業西路 500 號
出版日期：中華民國103年12月
再版日期：中華民國109年 3 月
ISBN 978-986-04-1870-5
GPN 1010301373
農試所出版品 2014年-001號
新台幣 350元整
展售門市：五南文化廣場　台中市北屯區軍福七路600號
　　　　　04-24378010
國家書店：桃園縣中壢市合圳北路二段95巷190之1號
　　　　　02-25180207-22或20

ISBN:978-986-04-1870-5
9 789860 418705
定價：新台幣350元整